



**Inês Nogueira da Silva Croft de Moura**

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Opções de tratamento de águas residuais por  
sistemas clássicos de lamas activadas numa  
perspectiva de minimização de recursos aplicados**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária

Orientador: David José F. Pereira, Prof. Doutor, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral  
Arguente: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano  
Vogal: Prof. Doutor David José Fonseca Pereira



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2012



Copyright © Inês Croft de Moura, Faculdade de Ciências e Tecnologia, e Universidade Nova de Lisboa, 2012

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este Relatório através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

A realização do presente trabalho não seria possível sem o apoio de diversas pessoas a quem gostaria de expressar o meu agradecimento.

Aos meus pais, avós e irmão, pela dedicação, pela educação exemplar que me proporcionaram e pela amizade incondicional.

Aos meus amigos e colegas, que sempre contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao meu orientador, Professor David Pereira, por todo o apoio prestado e conhecimento partilhado, sem o qual seria impraticável a conclusão da presente tese.

Ao Engenheiro João Farinha da DEGREMONT, à Engenheira Rita Oliveira e à Engenheira Amélia Fonseca da EFACEC, ao Engenheiro Luís Nogueira da Mota-ENGIL e à Engenheira Ana Alegria dos SMAS de Sintra, por toda a informação disponibilizada.

Um muito obrigada.



## Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo acerca dos custos relativos de construção e de exploração de um caso particular do sector do saneamento básico: o tratamento de águas residuais, de características domésticas, pela tecnologia mais comum: o sistema de lamas activadas. Consideraram-se três variantes de lamas activadas: baixa carga, média carga com digestão anaeróbia à temperatura ambiente e média carga com digestão anaeróbia mesofílica e posterior valorização energética.

Num largo espectro de população servida avaliam-se as alternativas de tratamento, que são dimensionadas de acordo com os parâmetros correntes. A comparação de custos das alternativas de tratamento utiliza o pré-dimensionamento geométrico, seguido de medição e orçamentação. Esta modelação técnico-económica visa permitir obter conclusões sobre o dimensionamento racional de estações depuradoras de águas residuais urbanas, quer de instalações novas, quer de instalações necessitadas de ampliação e/ou reabilitação. Com base em pressupostos práticos definem-se populações equivalentes servidas para as quais é vantajoso utilizar cada uma das alternativas, com grande ênfase na avaliação económico-financeira. Pertencerá ao projectista considerar outros factores particulares, que se discutem de forma generalizada.

O objectivo do presente trabalho é oferecer uma ferramenta generalista de decisão. Visto basear-se em considerações médias do mercado actual, pode apresentar desvios, quando aplicado a situações reais, carecendo de adaptação por técnicos qualificados.

Conclui-se do estudo que a franja de maior população equivalente contribuinte deverá ser servida, com vantagem, por um tratamento que incorpore aproveitamento de biogás proveniente de digestão anaeróbia mesofílica, para produção de calor e/ou energia eléctrica. Por outro lado, populações equivalentes servidas de menor dimensão utilizam com vantagens sistemas de arejamento prolongado, sem digestão separada, portanto. As franjas populacionais para as quais um ou outro sistema são claramente vantajosos são separadas por uma gama central, denominada "de dúvida", para a qual a situação deve ser estudada com maior rigor, face aos aspectos locais e particulares. Nessa zona de dúvida incluem-se os sistemas de tratamento por lamas activadas em média carga com digestão anaeróbia à temperatura ambiente.

Estes resultados qualitativos eram expectáveis, contribuindo a dissertação para balizar os mesmos, de forma quantitativa. Pode, assim, afirmar-se, partindo de pressupostos correntes e de uma metodologia apresentada, que, os sistemas em baixa carga se justificam, a nível de custos, para horizontes de projecto de 15 anos, até cerca de 10.000 habitantes equivalentes servidos. Os sistemas em média carga com aproveitamento energético tornam-se viáveis economicamente, para o mesmo horizonte de projecto, a partir de cerca de 35.000 habitantes equivalentes servidos (33.500 habitantes determinados no estudo).

Entre estes dois valores existe uma grande margem para discussão, na qual entra a possibilidade de utilização de digestão separada de lamas primárias e secundárias em digestores a funcionar à temperatura ambiente, um tipo de solução a cair em desuso, devido a algumas desvantagens de exploração, mas cujo estudo deveria ser aprofundado, para, reduzindo os inconvenientes, se poder reduzir o consumo energético em relação aos sistemas de baixa carga, em gamas populacionais

equivalentes servidas em que ainda não se justifica implementar um sistema de digestão aquecida com produção de energia.

**Palavras-Chave:** Tratamento de águas residuais, Lamas activadas, Digestão Anaeróbia, Minimização de custos.



## Abstract

The present document intends to be a study about the costing of construction and operation of a particular branch of the wastewater treatment: the use of activated sludge systems. There are three classical options of this process taken into consideration: extended aeration, conventional aeration with standard-rate sludge digestion and conventional aeration with high-rate sludge digestion and energy valorization.

In a large range of population served there is an evaluation of the treatment alternatives, that are designed according with the current parameters.

The economic study of the treatment alternative uses a geometrical pre-design, followed of measured work and quotation. This technical-economical modeling allows obtaining interesting conclusions for the future design of the wastewater treatment plants, whether new facilities or installations that need enlargement and/or rehabilitation.

Based on practical assumptions there's a definition of the served population which brings advantages to use one or other alternative, considering almost exclusively economical-financial criteria. The designer must have the responsibility to consider other factors that are discussed widely.

The purpose of the present document is to offer a general tool for decision. Since is based on actual average market conditions, may present deviations, when applied to real situations, needing the adaptation of qualified technicians.

The study concludes that a bigger range of contributing equivalent population should be served, with advantages, by a treatment that incorporates biogás use from mesophilic anaerobic digestion, to produce heat and/ or electricity.

By other hand, smaller equivalent populations use with advantages extended aeration systems, without separated digestion.

The range of populations where one or other system are obviously a good option are divided by a middle range, called "the doubt region", that has to be studied with more accuracy, due the local and particular characteristics. This "doubt region" includes activated sludge systems with conventional aeration using standard-rate anaerobic digestion.

These qualitative results were expected, being the present dissertation a contribution to delimit these results in a quantitative way. It is concluded that the conventional aerated systems with standard-rate digestion start to compensate, comparing with the extended aeration systems costs, in the project duration of 15 years, for equivalent populations served higher than 10.000 inhabitants. The activated sludge conventional aeration system with heated and mixed digesters and energy production from biogas becomes economically viable for the same project duration, from about 35.000 inhabitants served (according to this study, from 33.500 inhabitants).

In between, deep studies must be done, wherein enters the possibility of using separate digestion of primary and secondary sludge in standard-rate digesters, a type of solution that is falling into disuse, because of the exploration disadvantages, but which study should be performed to, reducing the inconveniences, decrease the energetic consumptions in comparison with extended aeration systems, for a range of equivalent population where it's not yet justified the implementation of high rate digestion with energy production.

**Keywords:** Wastewater Treatment, Activated Sludge, Anaerobic Digestion, Minimization of Costs.

## Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

<b>BC</b>	Sistemas de tratamento por lamas activadas em regime de baixa carga
<b>MC</b>	Sistemas de tratamento por lamas activadas em regime de média carga
<b>CBO</b>	Carência Bioquímica de Oxigénio
<b>Ccc</b>	Custo de Construção Civil
<b>Ceq</b>	Custo de fornecimento e montagem de Equipamentos
<b>Ch</b>	Carga Hidráulica
<b>CQO</b>	Carência Química de Oxigénio
<b>DATA</b>	Digestão Anaeróbia à temperatura ambiente
<b>DAM</b>	Digestão Anaeróbia Mesofílica
<b>DP</b>	Decantação (Sedimentação) Primária
<b>ETAR</b>	Estação de Tratamento de Águas Residuais
<b>F/M</b>	Relação alimento/microrganismos
<b>HP</b>	Horizonte de projecto
<b>J</b>	Joule
<b>Kg</b>	Quilograma
<b>W</b>	Watt
<b>ml</b>	Metro linear
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro quadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>Nt</b>	Azoto Total
<b>Pt</b>	Fósforo Total
<b>PRC</b>	Período de recuperação de capital
<b>Un</b>	Unidade
<b>SST</b>	Sólidos Suspensos Totais
<b>SVI</b>	Sludge Volume Index (o mesmo do que Índice de Mohlman)
<b>TA</b>	Tanque de Arejamento
<b>TIR</b>	Taxa interna de rentabilidade
<b>Tr</b>	Tempo de Retenção (dias)
<b>VAL</b>	Valor Actualizado Líquido
<b>€</b>	Euro
<b>°K</b>	Temperatura em Kelvin

## Lista de Abreviaturas Químicas

<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Ácido Sulfídrico
<b>N</b>	Azoto
<b>P</b>	Fósforo



# Índice

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	DEFINIÇÃO DO ÂMBITO E OBJECTIVO DO TRABALHO .....	5
3	GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL.....	7
	<b>3.1 Considerações introdutórias .....</b>	<b>7</b>
	<b>3.2 Tratamento preliminar.....</b>	<b>7</b>
	<b>3.3 Tratamento primário.....</b>	<b>7</b>
	3.3.1 Introdução.....	7
	3.3.2 Decantação primária .....	8
	3.3.3 Sistemas de decanto-digestão .....	9
	3.3.4 Decantadores lamelares.....	9
	<b>3.4 Tratamento secundário.....</b>	<b>10</b>
	3.4.1 Classificação de sistemas biológicos de tratamento secundário.....	10
	3.4.2 Sistema de arejamento por biomassa suspensa.....	10
	3.4.3 Sistema de tratamento por biomassa fixa .....	17
	<b>3.5 Tratamento da fase sólida.....</b>	<b>19</b>
	3.5.1 Origem e características das lamas.....	19
	3.5.2 Espessamento de lamas .....	19
	3.5.3 Estabilização de lamas.....	21
	3.5.4 Desidratação de lamas.....	25
	<b>3.6 Dimensionamento hidráulico de uma ETAR .....</b>	<b>26</b>
4	METODOLOGIA A ADOPTAR .....	29
	<b>4.1 Considerações de base.....</b>	<b>29</b>
	<b>4.2 Pressupostos do modelo.....</b>	<b>29</b>
	<b>4.3 Aspectos semelhantes ou sem aplicação no âmbito da comparação de custos .....</b>	<b>30</b>
	4.3.1 Obras gerais de construção civil e electricidade .....	30
	4.3.2 Tratamento preliminar .....	31
	4.3.3 Estações elevatórias do processo .....	32
	4.3.4 Desidratação.....	32
	4.3.5 Tratamento terciário .....	32
	4.3.6 Tubagem e acessórios dos circuitos hidráulicos .....	32
	4.3.7 Custos fixos de exploração.....	33
	<b>4.4 Aspectos diferenciadores dos sistemas em comparação de custos .....</b>	<b>33</b>
	4.4.1 Introdução ao capítulo.....	33
	4.4.2 Tratamento primário.....	33

4.4.3	Reactor biológico .....	33
4.4.4	Decantação secundária.....	34
4.4.5	Tratamento de lamas .....	34
<b>4.5</b>	<b>Critérios hidráulico–sanitários utilizados no pré-dimensionamento.....</b>	<b>35</b>
4.5.1	Introdução à metodologia.....	35
4.5.2	Tratamento primário.....	35
4.5.3	Tratamento secundário .....	36
4.5.4	Tratamento de lamas .....	38
<b>4.6</b>	<b>Critérios económicos.....</b>	<b>39</b>
4.6.1	Bases para a estimativa dos custos e análise económica.....	39
4.6.2	Custo de construção civil .....	40
4.6.3	Custo de equipamentos .....	41
4.6.4	Custo de operação.....	42
4.6.5	Custos de manutenção .....	43
4.6.6	Taxa de actualização .....	43
<b>4.7</b>	<b>Resumo da Metodologia adoptada.....</b>	<b>43</b>
4.7.1	Solução de tratamento em regime de baixa carga .....	43
4.7.2	Solução de tratamento em regime de média carga com DATA .....	44
4.7.3	Solução de tratamento em regime de média carga com DAM.....	45
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE COMPARAÇÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Dimensionamento das estações de tratamento.....</b>	<b>47</b>
5.1.1	Balanço de massas.....	47
5.1.2	Tratamento primário.....	47
5.1.3	Tratamento secundário .....	47
<b>5.2</b>	<b>Desenvolvimento das curvas de custo .....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Custos de construção em função das geometrias globais obtidas em processos de pré-dimensionamento.....	49
5.2.2	Estimativa de custos de equipamentos.....	55
<b>5.3</b>	<b>Custo de investimento total.....</b>	<b>60</b>
<b>5.4</b>	<b>Desenvolvimento de custos de exploração .....</b>	<b>61</b>
5.4.1	Custos de energia.....	61
5.4.2	Outros custos.....	62
<b>5.5</b>	<b>Custos totais a 15 anos.....</b>	<b>62</b>
<b>5.6</b>	<b>Análise de sensibilidade do modelo .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>

7	SÍNTESE E CONCLUSÕES.....	69
8	PROSSEGUIMENTO DA INVESTIGAÇÃO .....	71
9	BIBLIOGRAFIA .....	73
	<b>9.1 Livros e publicações .....</b>	<b>73</b>
	<b>9.2 Legislação .....</b>	<b>73</b>
	<b>9.3 Endereços electrónicos .....</b>	<b>73</b>

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Classificação dos sistemas biológicos de tratamento de efluentes (Adaptado de MELO, 1997) .....	10
Tabela 3.2 - Parâmetros de dimensionamento de sistemas de lamas activadas (AMARAL, 2007) .....	14
Tabela 3.3 - Performance de diferentes equipamentos de arejamento.....	15
Tabela 3.4 - Classificação dos leitos percoladores .....	17
Tabela 3.5 - Características físicas das lamas (Adaptado QASIM,1999).....	19
Tabela 3.6 - Características físicas das lamas por desidratar e desidratadas (Adaptado de EPA,1974) .....	26
Tabela 4.1 - Número de decantadores em função da população .....	36
Tabela 4.2 - Critérios de dimensionamento dos decantadores primários.....	36
Tabela 4.3 - Número de reactores em função da população.....	36
Tabela 4.4 – Características geométricas e hidráulico - sanitárias do reactor .....	37
Tabela 4.5 - Características geométricas e hidráulico-sanitárias dos decantadores secundários .....	37
Tabela 4.6 - Características hidráulico-sanitárias dos espessadores gravíticos .....	38
Tabela 4.7 - Parâmetros considerados de dimensionamento dos digestores anaeróbios .....	38



## Índice de Figuras

Figura 3.1 - Processo de lamas activadas (Adaptado de EPA, 1997).....	12
Figura 3.2 - Curva de Crescimento de Microrganismos (Adaptado EPA, 1997).....	13
Figura 3.3 - Concentrações de sólidos nas lamas no interior de um espessador gravítico (Adaptado de QASIM, 1999).....	20
Figura 3.4 - Esquema de um digestor convencional (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989) .....	23
Figura 3.5 – Esquema de um digestor tipo contínuo (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989).....	23
Figura 3.6 – Esquema de digestão em duas fases (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989) .....	24
Figura 3.7 – Desidratação de lamas – Centrífuga.....	26
Figura 4.1 - Função de custo hipotética (adaptado de PEREIRA, 2010) .....	40
Figura 4.2 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de baixa carga .....	44
Figura 4.3 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de média carga com Digestão Anaeróbia à temperatura ambiente .....	44
Figura 4.4 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de média carga com Digestão Anaeróbia mesofílica .....	45
Figura 5.1 - Curva de Custo da Construção Civil da Decantação Primária.....	50
Figura 5.2 - Curva de Custo de Construção Civil dos Tanques de Arejamento.....	51
Figura 5.3 - Curva de Custo de Construção Civil da Decantação Secundária .....	52
Figura 5.4 - Curva de Custo de Construção Civil do Espessamento Gravítico.....	53
Figura 5.5 - Curva de Custo de Construção Civil da Digestão a temperatura ambiente .....	54
Figura 5.6 - Curva de Custo de Construção Civil da Digestão Anaeróbia Mesofílica .....	54
Figura 5.7 - Curva de Custo de Construção Civil do Edifício de Cogeração .....	55
Figura 5.8 - Curva de Custo do Equipamento da Decantação Primária.....	56
Figura 5.9 - Curva de Custo do Equipamento dos Tanques de Arejamento .....	57
Figura 5.10 - Curva de Custo da Decantação Secundária .....	57
Figura 5.11 - Curva de Custo do Equipamento do Espessamento Gravítico .....	58
Figura 5.12 - Curva de Custo do Equipamento da Digestão Anaeróbia mesofílica .....	59
Figura 5.13 - Curva de Custo do Equipamento da Cogeração .....	59
Figura 5.14 - Curva de Custo do Investimento Inicial total .....	60
Figura 5.15 - Curva de Custo do consumo energético durante 15 anos .....	61
Figura 5.16 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento.....	63
Figura 5.17 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento para capitação de 100l/hab.d.....	64
Figura 5.18 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento para capitação de 160l/hab.d.....	64
Figura 5.19 – Resumo da Análise de Sensibilidade dos custos totais para capitações de 100, 130 e 160 l/hab.d.....	65



# 1 INTRODUÇÃO

O tratamento das águas residuais, apesar de ser uma prioridade numa sociedade desenvolvida, exige um esforço financeiro muito elevado, e, por esse facto, os objectivos óptimos nem sempre são atingidos. Impõe-se assim, uma reflexão sobre a avaliação da relação que deve existir, entre a inquestionável necessidade da preservação ambiental, e a alocação dos recursos financeiros necessários para a concretizar, uma vez que, se estes forem desadequados, a prossecução de outras políticas também socialmente muito importantes, é certamente prejudicada.

A construção de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) exige a utilização de capital intensivo na fase de implementação, mas não raras vezes se esquece a componente exploração, cujos custos podem ser muito significativos. Quando o custo de implementação é subsidiado - como foi o caso português, através do recurso a fundos comunitários -, mais perverso pode ser o resultado. Se os fundos ajudaram a construir as infra-estruturas, são os utentes - através de tarifários, impostos, ou outros meios -, a suportar o sobrecusto decorrente da tomada de decisões menos ponderadas, no que concerne à selecção das tecnologias de tratamento a adoptar em cada situação.

Os responsáveis pela gestão dos financiamentos externos a fundo perdido, submetidos a fortes pressões para cumprirem metas de execução muito exigentes, poderão ter descurado, algumas vezes, a importância da elaboração de estudos de viabilidade económica, de estudos prévios, de projectos de execução rigorosos e de auditorias externas criteriosas, em prol da defesa do real interesse público.

A estes aspectos, acresce a imposição da legislação comunitária, por vezes destituída de adequação e de possibilidade de adaptação às diferentes realidades de cada país membro da Comunidade, e a pressão exercida pelos grupos económicos fornecedores de tecnologias, muitas vezes desadequadas a contextos locais.

Por fim, a ânsia nacional de colocar Portugal nos países estatisticamente desenvolvidos, também contribuiu para “cobrir” o nosso país com sistemas de tratamento de águas residuais, onde, em muitos casos, constituiu maior preocupação a quantidade, em detrimento da procura criteriosa das soluções técnico-económicas mais vantajosas.

Pelos factos acima expostos, e também pela importação da ideia de que a excelência do tratamento de águas residuais dos países desenvolvidos se baseava unicamente no sistema de lamas activadas, em Portugal a adopção deste processo de tratamento imperou de forma “preconceituosa”, sobrepondo-se em larga escala aos restantes tipos de sistemas de tratamento.

As excepções apareceram em sistema de grande dimensão com limitações na área disponível ou em sistemas de reduzida dimensão, neste caso talvez nem sempre bem fundamentadas, por não se considerar a complexidade da exploração e a economia de escala da concentração dos sistemas de tratamento.

Não pretendendo questionar as vantagens do sistema de lamas activadas, indiscutivelmente cheio de virtudes, esta dissertação procura contribuir para uma reflexão sobre a avaliação dos limites dessas vantagens.

Anteriormente à entrada de Portugal na UE, os recursos económicos existentes para investir em unidades de tratamento de águas residuais eram verdadeiramente escassos. Nessa época, as

entidades projectistas de ETAR, na fase de Estudo-Prévio, promoviam o estudo e análise comparativa entre várias soluções de tratamento, por forma a justificar criteriosamente a sua conclusão sobre o sistema mais adequado. Esses estudos-prévios eram submetidos à apreciação e decisão das entidades adjudicatárias, normalmente passavam por uma reformulação e reapreciação, e só depois se passava ao desenvolvimento da solução seleccionada como apropriada para o caso específico. Este modelo implicava o esforço de pré-projectar várias soluções de tratamento, entre opções fundamentais e variantes ao processo fundamental, em apreciações sucessivas, tornando-se lento, se compararmos com o tempo alocado ao estudo e desenvolvimento de uma única solução de tratamento, pré-definida pelo Dono da Obra.

Com a chegada dos fundos europeus para a infra-estruturação do país, tal lentidão de processamento era incompatível com os cumprimentos de taxas de execução de programas, pelo que, se abandonou quase completamente aquela forma de desenvolver e aprovar os estudos-prévios, chegando a omitir-se esta fase de comparação. Os estudos preliminares foram progressivamente sendo minorizados e os concursos de concepção-construção, predominantes nas últimas duas décadas, são prova disso. Em muitos concursos já vinha definido o tipo de tratamento, a capacidade (por vezes, invariável no horizonte de projecto), as soluções de equipamento e seus materiais.

Esta significativa alteração na dinâmica do processo de infra-estruturação de Portugal, foi provocada pela generalização da ideia nacional de que, o que era necessário era gastar o capital que nos era oferecido pelos fundos europeus de coesão social, e que tínhamos que o aproveitar a todo o custo.

Nesta nova realidade, passou a predominar a adopção do sistema de lamas activadas, quase sempre em baixa carga (BC), por prevalecer, na perspectiva de quem explora, a simplicidade de operação e a maior fiabilidade na obtenção de resultados, ou seja, com menores riscos globais.

Mas esta noção não abrangia todos os aspectos importantes do problema, uma vez que, os custos eram muito comparticipados na fase do investimento inicial – fase da construção -, mas os elevados encargos da exploração já não seriam cobertos pelos apoios europeus. Um desequilíbrio deste tipo teria de se repercutir, em casos muitos desajustados, no aumento tarifário, a pagar pelos utentes.

A análise de soluções não pode ser somente económica e razões técnicas justificaram, com certeza, sistemas de arejamento prolongado para populações equivalentes de cerca de 200.000 habitantes, como existem. Porém, julga-se oportuno reflectir sobre o tema, sobre o que esta dissertação contribuirá, apoiando caminhos futuros de melhoria de soluções, que se definam como potencialmente criadoras de valor, quando mudando de um sistema de lamas activadas para o outro. Na maioria a migração será no sentido de baixa carga-média carga, mas poderá haver mudanças no sentido inverso, particularmente nos casos em que a carga de projecto se mostrou acima da realidade.

Numa altura em que as questões energéticas são tão importantes, esta dissertação também poderá ser impulsionadora de novas investigações conducentes ao aumento da competitividade de soluções optimizadas, energeticamente mais sustentáveis. No entanto, importa referir que existem diversos estudos nesta área e que este não foi o primeiro e certamente não será o último.

A dissertação está organizada em 10 capítulos que se podem dividir em três partes fundamentais: enquadramento global, investigação e resultados. Além do capítulo introdutório que se está a desenvolver aparecem mais nove capítulos, fechando-se a dissertação com anexos que evitam a leitura de pormenores desnecessários à compreensão do texto, no decorrer dele próprio.

No capítulo seguinte define-se o âmbito e os objectivos do trabalho, isto é, a ideia que esteve na génese da dissertação. O Capítulo 3 apresenta de uma forma genérica e despretensiosa a forma como são tratadas as águas residuais. Pretende unicamente enquadrar o problema. A desenvolver-se o tema atingir-se-ia um volume exagerado de texto, sem interesse para o alcance dos objectivos traçados. Nos capítulos 4, 5 fundamenta-se e descreve-se o desenvolvimento metodológico da dissertação. Os restantes capítulos destinam-se a discutir resultados, numa base desenvolvida e sintética e a apontar caminhos futuros de continuidade da investigação trilhada.



## 2 DEFINIÇÃO DO ÂMBITO E OBJECTIVO DO TRABALHO

A presente dissertação tende a contribuir para uma reflexão mais profunda sobre decisões passadas e contribuir também para apoiar futuras decisões de construção nova ou reabilitação e/ou ampliação. A questão que se coloca inicialmente, enquadrada numa perspectiva histórica no capítulo 1, é a dúvida sobre se terá sido justificado utilizar, em Portugal, nas duas últimas décadas, de forma tão expressiva, o processo de tratamento de lamas activadas em arejamento prolongado em detrimento de outras soluções menos consumidoras de energia. De seguida a questão passa a querer saber-se quais os valores de capacidade de tratamento que se estima poder aceitar-se sem dúvidas, mesmo face a situações extremas de dimensionamento, em que os sistemas de baixa carga ou média carga (MC) podem ser utilizados sem necessidades de melhor justificação. A resposta a esta segunda questão faz definir uma gama de variação de capacidade de tratamento onde estudos aprofundados, com informação local e particular, tenham de ser elaborados para que uma decisão racional fundamentada possa ser proposta.

Investigar estas questões e concluir sobre as mesmas é o objectivo delineado para a presente dissertação, que se pode dividir nos seguintes vectores principais:

- i) Caracterizar teoricamente, numa perspectiva processual, construtiva e de exploração, um sistema de lamas activas em baixa carga (arejamento prolongado);
- ii) Caracterizar teoricamente, numa perspectiva processual, construtiva e de exploração, um sistema de lamas activadas a média carga (dito convencional) com estabilização anaeróbia à temperatura ambiente ou a uma temperatura elevada artificialmente;
- iii) Definir uma metodologia capaz de estimar com suficiente rigor comparativo os custos de construção e exploração dos sistemas referidos;
- iv) Comparar os diferentes sistemas de tratamento considerados, através da estipulação de critérios de dimensionamento correntes, e uma análise técnico-económica credível, embora simplificada.





## **3 GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL**

### **3.1 Considerações introdutórias**

Nas últimas décadas sentiu-se uma crescente preocupação sócio-ambiental na gestão dos recursos hídricos, reflectida numa necessidade de resposta atenta e eficaz, nem sempre conseguida, nomeadamente na melhoria do custo/eficácia dos sistemas de tratamento dos efluentes provenientes dos meios urbanos e industriais.

A evolução da legislação e das tecnologias de tratamento das águas residuais observada foi uma consequência deste interesse da sociedade. Os sistemas de tratamento evoluíram, sem dúvida, mas essencialmente como melhoramentos de ideias clássicas, baseadas no aproveitamento dos processos mecânicos, físicos, biológicos e químicos para remoção de poluentes.

O principal objectivo do tratamento de águas residuais é corrigir as características não desejáveis para que o seu uso ou lançamento final possam ocorrer de acordo com regras ambientalmente correctas, definidas por legislação sucessivamente actualizada.

Neste capítulo 3 faz-se uma introdução ao tratamento das águas residuais, por se considerar essencial uma visão global sobre o assunto. O objectivo é enquadrar a investigação, particularmente para leitores que estejam menos familiarizados com o tema. De seguida descrevem-se alguns tipos de tratamento de águas residuais, considerados como de maior relevância, dando-se maior ênfase ao tratamento secundário e aos sistemas utilizados no modelo de dimensionamento e comparação. Tratamento terciário, por exemplo, não é tratado neste capítulo.

### **3.2 Tratamento preliminar**

O tratamento preliminar tem como objectivo remover os elementos grosseiros presentes nas águas residuais afluentes a uma ETAR, protegendo operações a jusante reduzindo, assim, os custos de manutenção dos processos e equipamentos que constituem a ETAR. Pode incluir operações de gradagem, tamisação, dilaceração, pré-arejamento, desarenação, desengorduramento. Não se inclui o condicionamento químico, tal como a correcção de pH, por esta dissertação dizer respeito ao tratamento de águas residuais de características domésticas e este tipo de tratamento estar ligado a águas residuais industriais afluentes.

### **3.3 Tratamento primário**

#### **3.3.1 Introdução**

As estações com tratamento biológico por lamas activadas convencional e leitos percoladores são normalmente precedidas de unidades de tratamento normalmente mencionadas como decantação primária. O tanque de sedimentação que precede o tratamento biológico é denominado de decantador secundário. Ambos os decantadores primários e secundários operam da mesma forma sendo a sua maior diferença a densidade das lamas com que os diferentes órgãos lidam. As lamas

primárias são na sua maioria mais densas (e menos estáveis) que as lamas secundárias e o seu sobrenadante é igualmente mais carregado.

As diferentes formas como os sólidos sedimentam num decantador são de enorme importância para a operação de uma estação de tratamento. Há quatro tipos de sedimentação que são dependentes do tipo de sólidos presentes no líquido.

- Sedimentação discreta – aplicada a areias, quando as propriedades físicas das partículas tais como a densidade, forma e tamanho se mantêm constantes ao longo da sedimentação
- Sedimentação floculenta – as partículas em sedimentação juntam-se aumentando a sua densidade e capacidade de sedimentar.
- Sedimentação retardada – é associada com a sedimentação de lamas activadas, onde as partículas formam uma camada que depois sedimenta e consolida
- Sedimentação por compressão – a compressão das partículas é muito lenta e é unicamente possível pela pressão do peso das novas partículas adicionadas à camada de lama.

Na prática, é comum ocorrerem os quatro tipos de decantação simultaneamente no tanque de sedimentação. (EPA,1997).

### **3.3.2 Decantação primária**

#### **3.3.2.1 Objectivo do tratamento primário**

O objectivo do tratamento primário é a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis. Esta operação remove, na sua generalidade, 50 a 70% dos sólidos suspensos e 30 a 40% de CBO<sub>5</sub> (Carência Bioquímica de Oxigénio) (QASIM, 1999). A remoção destes componentes vai permitir a redução da intervenção dos processos biológicos realizados a jusante na obtenção da qualidade final pretendida, diminuindo as necessidades de oxigénio e, em consequência, os consumos energéticos, necessários para a oxidação das partículas orgânicas. Isto provoca uma redução na produção de lamas secundárias, embora com criação de lamas primárias, que aproximam a produção global do equilíbrio.

O tratamento primário remove igualmente material flutuante que passe o tratamento preliminar, minimizando problemas operacionais nos processos de tratamento a jusante e melhorando a estética de toda a ETAR (VESILIND, 2003).

Existem vários tipos de tratamento primário, tais como os sedimentadores convencionais de fundo chato ou do tipo Dortmund, as fossas sépticas, os tanques Imhoff e os decantadores lamelares. De seguida efectuar-se-á uma breve descrição destes sistemas apesar de não ser do âmbito do presente trabalho desenvolver a maioria dos modelos de comparação.

#### **3.3.2.2 Tanques clássicos de sedimentação**

Os tanques de sedimentação são geralmente circulares ou rectangulares. O seu propósito é reduzir a velocidade do fluxo de águas residuais de entrada permitindo assim que os sólidos sedimentáveis mergulhem no fundo do tanque, de onde são retirados misturados com água, formando a mistura as chamadas lamas primárias.

A eficiência do tanque de decantação primária é dependente de vários factores, nomeadamente:

- O tempo que a água residual está no sistema de colectores visto esta permanência poder gerar bolhas de gás sulfídrico ( $H_2S$ );
- O funcionamento real que pode não coincidir com os critérios de dimensionamento considerados em projecto – o critério mais importante é o tempo de retenção no decantador, que se situa em cerca de duas horas a caudal máximo e a carga hidráulica que se situa tipicamente entre 28,8 e 36  $m^3/m^2/d$ ;
- A periodicidade da purga de lamas – as lamas devem ser retiradas regularmente de forma a prevenir a septicidade do sistema, o que pode formar lamas flutuantes;
- A quantidade e a intensidade temporal do retorno de escumas de outras fases de tratamento que podem conter sólidos suspensos com qualidades de sedimentação variáveis. (EPA,1997).

### 3.3.3 Sistemas de decanto-digestão

Os sistemas de decanto-digestão são constituídos por tanques que associam as funções de separação gravítica de materiais em suspensão de densidade diferente da água à estabilização anaeróbia das lamas orgânicas produzidas. Tal é realizado numa mesma célula, reduzindo a eficiência da decantação por causa da ascensão de partículas gasosas produzidas, ou em compartimentos contíguos mas diferenciados

Estes tratamentos são muito simples, sendo vantajosos quando se pode aceitar uma menor qualidade efluente e quando se quer reduzir a factura da exploração. Em casos em que exista o tratamento secundário pode aproveitar-se a capacidade de digestão para aceitar lamas secundárias produzidas concentrando aí todo o tratamento.

Num tanque Imhoff, a água residual entra através do compartimento superior e os sólidos sedimentados são digeridos no compartimento inferior. Estes compartimentos são parcialmente separados, prevenindo assim que os gases e as partículas de lama digerida na secção inferior retornem à secção superior.

Existem floculantes químicos que, ao serem adicionados, podem melhorar a sedimentação neste tipo de tanques, tais como sulfato de alumínio, cloreto férrico, cal e polímero, produzindo flocos insolúveis que absorvem a matéria coloidal e atraem sólidos suspensos não sedimentáveis, promovendo a sedimentação (EPA,1997).

### 3.3.4 Decantadores lamelares

As superfícies inclinadas num decantador aumentam a área superficial efectiva para a sedimentação, aumentando assim a eficiência. O aumento da área superficial é conseguido através de uma série de placas inclinadas (lamelas) ou tubos (circulares, quadrados, hexagonais ou outros) ocupando até 70% da profundidade do tanque, colocados a menos de 30cm abaixo da superfície da água. Os tubos, com cerca de 25 a 50 mm de diâmetro, são colocados a um ângulo superior a 40° com a horizontal para que a lama decantada caia para a base do tanque de onde pode ser removida. O resultado é a utilização de tanques mais pequenos, diminuindo custos de investimento em tanque construídos de raiz ou aumentando a capacidade de tanques existentes por melhor utilização do seu volume útil.

Algumas desvantagens dos decantadores lamelares são (i) a possibilidade de entupimento; (ii) a maior acumulação de óleos e gorduras, tendo estes contaminantes de ser retirados a montante; (iii) o crescimento de plantas e biofilme e (iv) a acumulação de lamas nas lamelas e tubos, o que pode promover a septicidade e diminuir a qualidade do efluente. (EPA,1997)

### 3.4 Tratamento secundário

#### 3.4.1 Classificação de sistemas biológicos de tratamento secundário

Em geral, o tratamento secundário baseia-se em processos de tratamento biológico que utilizam microrganismos que decompõem a matéria orgânica (NOVOTNY & IMHOFF, 1989), sendo estes processos na sua maioria aeróbios.

Existem diversos sistemas que, utilizando processos de tratamento e critérios diferentes, efectuem o tratamento biológico da água residual, como se resume na tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Classificação dos sistemas biológicos de tratamento de efluentes (Adaptado de MELO, 1997)**

Biomassa Suspensa		Biomassa Fixa	
Aeróbios	Anaeróbios	Aeróbios	Anaeróbios
Lagoas	Lagoas	Filtro percolador	Filtro anaeróbio
Lamas activadas	Digestor de contacto	Discos Biológicos	Discos Biológicos
-	UASB (leito de grânulos)	Biofiltros	
-	EGSB (leito expandido de grânulos, com recirculação)		

No presente capítulo trabalho, tendo em conta o seu objectivo e âmbito, dar-se-á mais importância aos sistemas de tratamento biológico por lamas activadas, apresentando-se apenas uma descrição geral dos outros tipos de tratamento biológico mais importantes, numa perspectiva de enquadramento alargado.

#### 3.4.2 Sistema de arejamento por biomassa suspensa

##### 3.4.2.1 Lamas activadas

O processo de lamas activadas é um tratamento aeróbio de águas residuais que se caracteriza por um contacto entre a matéria orgânica da água residual e os microrganismos aeróbios, responsáveis pelos processos de oxidação dessa matéria, estabelecido ao nível de flocos biológicos em suspensão na água residual e uma introdução de oxigénio na mistura de água residual e flocos biológicos, realizada por meio de um sistema mecânico.

Os flocos biológicos, também denominados lamas activadas, são massas biologicamente activas, resultantes de processos de floculação de partículas coloidais orgânicas e inorgânicas e de células vivas, principalmente bactérias e protozoários, embora estes últimos em menor quantidade.

A unidade de tratamento onde se realiza o processo (o reactor) é composta por um tanque e por um sistema de arejamento, além dos dispositivos de entrada e de saída da água residual.

Neste tanque, estabelecem-se condições que permitem o desenvolvimento rápido de microrganismos aeróbios que através das suas actividades metabólicas reduzem o conteúdo orgânico das águas residuais, e a floculação do material em suspensão tornando-o fácil de remover através de uma simples operação de sedimentação.

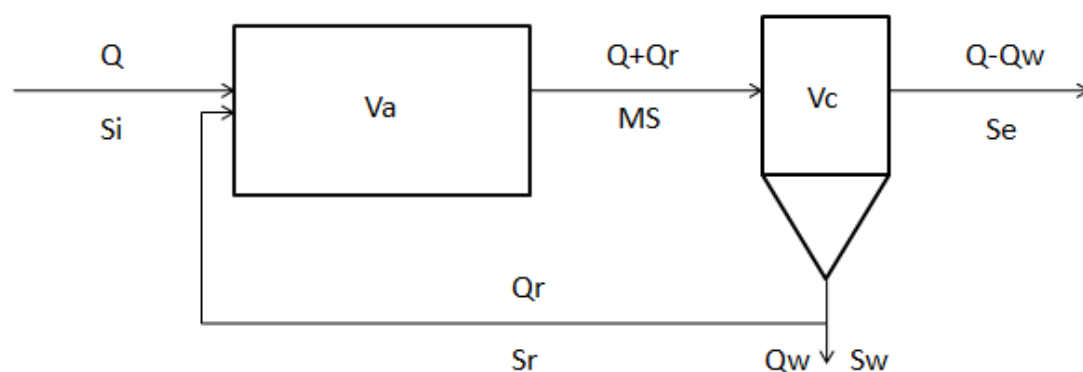
Os flocos, assim como as partículas e microrganismos em vias de floculação, são mantidos em suspensão no líquido para que seja impedida a criação de zonas inactivas. A suspensão do material é conseguida através da agitação do meio facilitando o processo de floculação.

À medida que os microrganismos assimilam a matéria orgânica da água residual e se reproduzem, diminui o CBO dessa água residual e aumenta o número ou a massa de células vivas no sistema dando origem à produção de lamas.

As lamas formadas no tanque de arejamento apresentam boas características de sedimentabilidade sendo separadas em órgão associado, a jusante do reactor, ou no próprio reactor se a sua função for dupla.

Estabelecido o equilíbrio do sistema para um intervalo de valores da relação “alimento/microrganismos” (F/M) as lamas produzidas diariamente constituem as lamas em excesso, sendo extraídas do sistema e submetidas a tratamento adequado. As restantes lamas separadas conjuntamente com as lamas em excesso são recirculadas para o reactor.

A Figura 3.1 apresenta um esquema clássico de um sistema de lamas activadas com sedimentação separada, tal como acabou de ser descrito.



$Q$ =caudal afluente

$Q_r$ =caudal de recirculação

$Q_w$ =caudal de lamas activadas

$V_a$ =volume do tanque

$V_c$ =volume do decantador 2º

$S_i$ =sólidos suspensos afluentes

$S_r$ =sólidos suspensos da recirculação

$S_w$ =sólidos suspensos das lamas activadas

$MS$ =sólidos suspensos totais

$S_e$ =sólidos suspensos efluentes

**Figura 3.1 - Processo de lamas activadas (Adaptado de EPA, 1997)**

#### Variantes de Processo de Tratamento por Lamas activadas

Os valores da relação  $F/M$  são divididos em 3 intervalos distintos, que definem estados de actividade dos microrganismos, caracterizadores de diferentes variantes de lamas activadas.

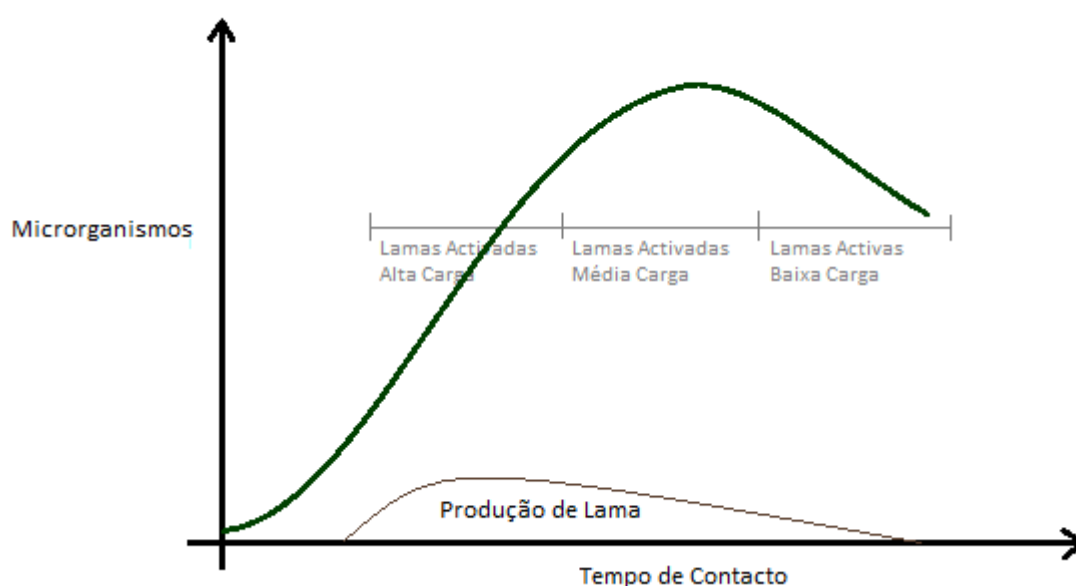
Os sistemas com valores muito elevados da relação  $F/M$  no tanque de arejamento e baixo tempo de permanência dos microrganismos e da água residual a tratar biologicamente denominam-se processos em alta carga ou de arejamento rápido. Devido à abundância de alimento, observam-se elevadas taxas de absorção e síntese da matéria orgânica, assim como de multiplicação dos microrganismos e de consumo do oxigénio. O rendimento do processo, em termos de redução de CBO é inferior a 75%. Nestes sistemas, as águas residuais que afluem ao tanque de arejamento devem ser submetidas a tratamento preliminar e primário. As lamas em excesso apresentam uma elevada actividade biológica pelo que têm de ser submetidas a um processo de estabilização.

Os sistemas de média carga ou de arejamento convencional, em virtude dos valores menos elevados da relação  $F/M$  no tanque de arejamento em comparação com os de alta carga, limitam a multiplicação dos microrganismos até um ponto a partir do qual, por falta de alimento, esses microrganismos utilizam as suas próprias reservas celulares. Relativamente aos sistemas de alta carga, os de média carga desenvolvem-se com menor produção de lamas, com um rendimento superior (da ordem dos 90%) e com uma taxa de consumo de oxigénio menor, embora seja maior a quantidade de oxigénio consumido por unidade de carga orgânica eliminada do sistema. Nestes sistemas, as águas residuais afluentes ao tanque de arejamento também devem ser submetidas a pré-tratamento e a decantação primária, e as lamas em excesso têm, igualmente, de ser estabilizadas separadamente antes da operação de secagem.

Os sistemas de baixa carga ou de arejamento prolongado desenvolvem-se para valores muito baixos da relação  $F/M$  no tanque de arejamento, sendo os microrganismos e a água residual mantidos sob arejamento durante um período elevado. A falta de alimento obriga os microrganismos a metabolizarem o seu próprio material celular ou, por outras palavras, a auto-oxidarem-se. A taxa de

consumo de oxigénio é baixa sendo, porém, a quantidade de oxigénio consumido por unidade de carga orgânica eliminada a mais elevada dos três sistemas. A massa de lamas em excesso é mais reduzida do que nas variantes anteriores, visto que, através de processos de auto-oxidação, a matéria orgânica é convertida em produtos de baixa energia, isto é estáveis. Este tipo de sistemas dá origem a um efluente de muito boa qualidade e é muito estável, pois suporta pontas de carga orgânica afluente sem ficar comprometido de uma forma significativa o rendimento do processo. A água residual que aflui ao tanque de arejamento é apenas submetida a pré-tratamento mecânico não necessitando de decantação primária. As lamas em excesso caracterizam-se por elevado grau de estabilização, pelo que são submetidas apenas a operação de secagem.

Na Figura 3.2 apresenta-se uma curva de crescimento de microrganismos em que se podem destacar as três variantes referidas.



**Figura 3.2 - Curva de Crescimento de Microrganismos (Adaptado EPA, 1997)**

As principais vantagens de operar a uma relação F/M elevadas são a redução do consumo energético visto o sistema necessitar de menos oxigénio e, para um caudal afluente constante, consegue-se atingir uma boa qualidade do efluente. Os possíveis problemas prendem-se com o facto de existirem menos microrganismos no sistema, ou seja, menos capacidade de lidar com cargas elevadas de CBO, pH, toxicidade deteriorando a qualidade do efluente final.

As vantagens de operar numa relação F/M baixa são devidas à elevada quantidade de sólidos em suspensão que funciona como um tampão a variações no CBO, pH, composição da água residual ou temperatura. Este sistema reduz também a produção de espumas e funciona bem quando existem variações no CBO afluente. Os principais problemas que podem ocorrer neste tipo de sistema é a inadequada quantidade de alimento para a população de microrganismos, aumentando o crescimento de microrganismos filamentosos e a maior dificuldade (não limitativa) em manter da quantidade de oxigénio dissolvido no tanque de arejamento. (EPA, 1997)

**Tabela 3.2 - Parâmetros de dimensionamento de sistemas de lamas activadas (AMARAL, 2007)**

Sistemas	MS (g/l) (kg/m <sup>3</sup> )	MVS (g/l) (kg/m <sup>3</sup> )	β	Factores de carga		Coeficientes				θ <sub>c</sub> (dias)	% de remoção T.A.	Tr (horas)	R (%)
				F/M (kg CBO <sub>5</sub> / /Kg MVS.dia)	fv (kg CBO <sub>5</sub> / /m <sup>3</sup> .dia)	lamas em excesso		O <sub>2</sub> requerido					
						a	b	a'	b'				
BAIXA CARGA OU AREJ. PROLONGADO	4 - 8	3 - 5	0,65	0,03   0,135	≤ 0,3	0,6	0,05	0,55	0,06	≥ 30	≥ 90	16 - 24	100   300
MÉDIA CARGA OU AREJ. CONVENCIONAL	2 - 4	1,5 - 3	0,7	0,2   0,5	0,5 - 1	0,57	0,05	0,5	0,08	4 - 8	90 - 95	4 - 8	30   100
ALTA CARGA OU AREJ. RÁPIDO	0,2 - 0,5	0,14 - 0,35	0,7	1,5   5	1,2 - 2,4	0,55	0,07	0,4	0,1	2 - 4	85 - 90	2 - 4	30   100

MS - Matéria total em Suspensão

MVS ou MLVSS - Matéria Volátil em Suspensão

F/M - factor de carga mássica (fm)

fv - factor de carga volumica

R - razão de recirculação (R = Qr/Q)

a' factor relacionado com a síntese de material celular,  
Kg O<sub>2</sub>/Kg CBO eliminado

b' Factor de respiração endógena,  
Kg O<sub>2</sub>/Kg SVS dia

$\theta_c$  idade das lamas

$\beta = MVS / MS \times 100$

### Necessidades de Oxigénio

O oxigénio é necessário para a respiração dos microrganismos no tanque de arejamento. O processo de lamas activadas depende da actividade destes microrganismos aeróbios e, conseqüentemente, o controlo deste parâmetro torna-se vital.

Muita e pouca quantidade de oxigénio no tanque de arejamento são indesejadas por diferentes razões. Demasiado oxigénio adiciona custos desnecessários devido ao aumento do consumo de energia e pouco oxigénio diminui o metabolismo dos microrganismos e a eficiência do processo. Assim, o oxigénio adicionado ao processo tem de satisfazer as necessidades dos microrganismos presentes no tanque e manter a concentração entre 1 e 2 mg/l de oxigénio no líquido.

A maioria dos equipamentos de arejamento está patenteada e estão em constante desenvolvimento.

O oxigénio é fornecido ao tanque de arejamento através de três métodos fundamentais:

- Agitação mecânica da água residual promovendo o aprisionamento do ar da atmosfera;
- Difusores submersíveis que injectam ar através de compressores de ar;
- Combinação de agitadores mecânicos e difusores.

Os sistemas por ar difuso utilizam difusores que injectam o ar em bolhas. Estes difusores são tradicionalmente divididos em difusores de bolha fina ou de bolha grossa. Teoricamente, quanto mais fina for a bolha de ar, maior a transferência de oxigénio. Estas unidades podem dividir-se em três categorias:

- Difusores porosos;
- Difusores não porosos;
- Outros equipamentos (arejadores de jacto, arejadores de aspiração entre outros).



A transferência de oxigénio para a água residual depende de factores tais como o tipo, o tamanho e a forma do difusor, o caudal de ar de entrada, a altura de submersão e a geometria do tanque.

Os arejadores mecânicos utilizam rodas de pás, misturadores ou escovas rotativas para induzir desvios (quer ascensionais quer descendentes) ou agitação violenta para atingir a transferência de oxigénio. Classificam-se em verticais ou horizontais e em submersos ou superficiais.

Os arejadores mecânicos de superfície com um eixo vertical podem ter diferentes tipos de impulsão, nomeadamente centrífugo, radial-axial ou axial. A quantidade de oxigénio fornecido à água residual e a energia consumida pelo arejador é dependente da profundidade de submersão deste.

A eficiência de transferência do equipamento de arejamento pode ser comparado pela quantidade de oxigénio transferido por unidade de ar introduzido na água residual em condições de operação *standard* (temperatura, matriz química e profundidade de imersão), expressa em  $\text{kgO}_2/\text{kWh}$ .

**Tabela 3.3 - Performance de diferentes equipamentos de arejamento**

Equipamento de arejamento	Taxa de transferência de oxigénio ( $\text{kgO}_2/\text{kWh}$ )
Difusores de bolha fina	2,0 – 2,5
Difusores de bolha grossa	0,8 – 1,2
Arejadores de eixo vertical	Até 2,0
Arejadores de eixo horizontal	Até 2,0

O coeficiente de transferência de oxigénio é afectado pela temperatura, intensidade de mistura, geometria do tanque e características da água.

O equipamento de arejamento tem de ser capaz de manter a lama activada em suspensão no tanque de arejamento. A potência necessária para uma mistura completa varia entre 10 a  $30 \text{ W/m}^3$  dependendo do volume do tanque e na eficiência da bomba hidráulica do equipamento de arejamento. Para calcular o arejamento ou a potência de mistura necessária de um sistema, as perdas do motor e do eixo têm de ser tidas em conta (EPA, 1997).

#### Decantação Secundária

O objectivo da decantação secundária é o de separar sólidos suspensos, possibilitando a remoção de lamas em excesso e recirculando lamas para o tanque de arejamento, que, de outra forma, se escapariam para o efluente. O sucesso de obtenção dos valores de qualidade para os sistemas de tratamento dependem da capacidade de sedimentação do efluente ao decantador. Enquanto a sedimentação de sólidos é evitada no tanque de arejamento pela acção de equipamento de arejamento e agitação, o tanque de sedimentação é dimensionado para promover essa operação unitária.

As cargas hidráulicas de dimensionamento do tanque de sedimentação (também designado de decantação) secundária são mais baixas do que nos tanques de decantação primária. Essas cargas variam entre 21 e  $28,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ . Um tempo de retenção adequado permite ao tanque de sedimentação

uma boa separação do líquido afluente. Outros parâmetros de dimensionamento influenciam a remoção, tais como a profundidade do tanque, a forma, os sólidos suspensos totais presentes na água residual e a eficiência necessária, entre outros. A carga hidráulica, expressa em  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  é o principal parâmetro de dimensionamento do tanque.

O índice de volume de lamas (SVI) é utilizado para calcular a quantidade de lamas sedimentadas. Dependendo da densidade da lama sedimentada, o volume de retorno das lamas activadas tem de ser alterado de forma a manter a carga de sólidos no tanque de arejamento.

O propósito da recirculação de lamas é o de manter um adequado número de microrganismos no tanque de arejamento para a quantidade de carga (alimento) a entrar na estação. A lama recirculada contém microrganismos que têm a capacidade de se alimentar de matéria orgânica presente na água residual.

### Energia

Sem comprometer a qualidade do efluente final, podem-se efectuar ajustes ao processo de lamas activadas de forma a reduzir a necessidade energética e os consequentes custos energéticos e de operação. As decisões que podem ser contributivas para a optimização do processo são o número de unidades em funcionamento, as concentrações de oxigénio dissolvido, a idade de lama, o caudal de recirculação e as concentrações.

Por questões de dimensionamento, o equipamento de arejamento, como anteriormente mencionado, deve ser seleccionado para manter no sistema entre 1 e  $2\text{mg/l}$  de oxigénio. Ajustar a performance do arejador para ir ao encontro das necessidades mínimas de oxigénio resulta numa poupança energética significativa. Tipicamente as necessidades de oxigénio dissolvido durante a noite serão mais baixas que durante o dia, visto a carga orgânica afluente ser consideravelmente mais baixa.

A remoção de carbono requer cerca de 30 a 40% menos energia que a remoção de carbono e azoto. Se a nitrificação não for necessária, operar a uma idade de lamas inferior irá satisfazer os parâmetros de remoção. A redução da idade de lamas pode ser conseguida controlando a produção de lamas, a purga e a recirculação.

As bombas de recirculação de lamas e de alimentação de água residual, se a operar em contínuo, irão consumir uma quantidade de energia significativa. Para reduzir o consumo de energia podem ser tomadas as seguintes medidas (QASIM, 1999):

- evitar, quando possível, operar com válvulas de estrangulamento na descarga,
- utilizar uma bomba de recirculação por cada tanque de decantação secundária,
- utilizar bombas de lamas activadas com controlo de velocidade,
- utilizar controlos com velocidades variáveis ao invés de instalações com velocidades fixas,
- especificar um impulsor mais baixo para bombas que operam à sua capacidade mais baixa.

Uma estratégia energética eficiente numa determinada estação inclui também a selecção da tarifa de electricidade apropriada e o aproveitamento de incentivos á utilização de energias renováveis.

### 3.4.3 Sistema de tratamento por biomassa fixa

#### 3.4.3.1 Leitos Percoladores (aeróbios)

Os Leitos Percoladores consistem num meio filtrante, ao qual aderem microrganismos e através dos quais a água residual a ser tratada é percolada. O material de enchimento deve apresentar dimensões máximas a variar entre 4mm a 200mm. Este meio filtrante deverá ter uma área superficial elevada por unidade de volume, baixo custo, elevada durabilidade, resistência a ataques químicos e um tamanho e densidade consistentes.

Os leitos percoladores são construídos com um dreno inferior para colectar o líquido tratado e os sólidos biológicos que se desprendem do material do leito. Este sistema de drenagem é importante, tanto para colectar os líquidos já percolados, como para permitir a circulação ascensional do ar através do leito. Os líquidos colectados são encaminhados para um decantador, onde os sólidos são separados do efluente final. Uma parte dos líquidos colectados no sistema de drenagem, ou do efluente final, são geralmente recirculados para o filtro, diluindo a água residual afluente e mantendo as taxas de aplicação superficiais mínimas, adequadas à boa operação do sistema.

Sobre a superfície do enchimento constituinte do meio filtrante forma-se uma película biológica que serve de suporte aos microrganismos que se encarregam de remover a matéria orgânica dissolvida nas águas residuais. Esses microrganismos são predominantemente bactérias aeróbias, pelo que é necessário prever adequada ventilação do meio de enchimento. Este objectivo consegue-se, facilmente, através de aberturas no fundo da parede exterior, não podendo, portanto, construir-se um leito percolador enterrado.

Em função das cargas aplicadas, os leitos percoladores classificam-se em baixa carga, média carga, alta carga e muito alta carga, cuja caracterização se pode observar na Tabela 3.4. Os componentes principais deste equipamento são o tanque, o sistema de distribuição da água residual a tratar, o meio filtrante que serve de suporte aos microrganismos que efectuam a depuração, o sistema de drenagem inferior e a ventilação.

**Tabela 3.4 - Classificação dos leitos percoladores**

<b>Parâmetro</b>	<b>Baixa Carga</b>	<b>Média Carga</b>	<b>Alta Carga</b>	<b>Muito Alta Carga</b>
Carga Hidráulica $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	1,0 – 3,75	4,0 – 9,5	9,5 - 28	28 - 47
Carga Orgânica kg $\text{CBO}/\text{m}^3.\text{d}$	0,08 – 0,32	0,24 – 0,48	0,48 – 0,96	0,8 – 1,6
Produção de lamas $\text{kg SST}/\text{kg CBO}.\text{d}$	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 ou mais
Nitrificação	Sim	Parcial a cheio	Pouco provável	Não
Configuração utilizada	Filtração simples	Simple com recirculação ou filtração a 2 estágios	Filtração a alta carga	Filtração de desbaste

### 3.4.3.2 Biodiscos

Os biodiscos são um processo de biomassa fixa onde o meio de suporte sofre rotação estando alternadamente submerso onde está em contacto com a água residual e emergido onde está em contacto com o ar. Não é usual o biofilme anaeróbio aderir ao meio de suporte.

Existe uma grande variedade de meios de suporte mas a característica da unidade consiste em discos de plástico muito próximos (separados por 20-30mm) com 1 a 3 metros de diâmetro a rodar num eixo. A rotação dos discos é accionada por um motor engrenado conectado directamente ao eixo ou por bolhas de ar direccionadas tangencialmente em palhetas anexadas aos discos. Outros biodiscos utilizam superfícies especiais com o propósito de aumentar a área superficial e reduzir o tamanho do equipamento e o seu custo. As cargas hidráulicas dos biodiscos não devem exceder 5g de CBO solúvel/m<sup>2</sup>.d (expressa em termos de total de área superficial do meio de suporte, livre e imerso) para a sedimentação de água residual.

A velocidade de rotação dos biodiscos não deve exceder 0,35m/s, dependendo o diâmetro dos biodiscos da frequência de rotação. Esta rotação deve prevenir a sedimentação de sólidos no tanque de arejamento. A rotação a velocidades mais elevadas pode provocar erosão do biofilme e uma rotação baixa pode não ser suficiente para arejar o biofilme. (EPA,1997)

### 3.4.3.3 Biofiltros submersos

Este tipo de processo de biomassa fixa combina alguns dos princípios do biofilme e do processo de lamas activadas. O biofilme agarra-se e cresce no filtro submerso que pode estar em arejamento activo. Através deste processo a erosão da biomassa é inevitável pelo que, periodicamente, a unidade deverá ser lavada, a contracorrente, de forma a evitar entupimento devido a excessivo crescimento de biomassa.

Existem diversas configurações, tamanhos e material filtrante e os diferentes sistemas podem ser diferenciados por:

- Sentido de escoamento do caudal – tem consequências na escolha do material estruturante utilizado nos leitos, dado que podem existir ambos os sentidos;
- Arejamento do processo aeróbio ou não arejamento do processo anóxico;
- Carga hidráulica e orgânica - depende da função (remoção de CBO, nitrificação, remoção de sólidos suspensos);
- Produção de lamas;
- Forma como é separada a lama da água residual;
- Necessidade ou não de um estágio de decantação secundária;
- Características do efluente;
- Relação com outras unidades do processo.

As cargas utilizadas no dimensionamento são semelhantes ou superiores às estações de arejamento convencionais (EPA, 1997):

- 0,25-2,0 kg CBO/m<sup>3</sup>.d para oxidação de carbono;
- 0,25-1kgNH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>.d para nitrificação;
- cerca de 10m/h de carga hidráulica para remoção de sólidos suspensos.

## 3.5 Tratamento da fase sólida

### 3.5.1 Origem e características das lamas

As principais origens das lamas a tratar são os decantadores primários e secundários. Podem também derivar da precipitação química, unidades de nitrificação – desnitrificação, gradagem e tamisação ou processos de filtração sempre que a estação possua estas unidades (QASIM, 1999).

As lamas são constituídas essencialmente por água e, em geral, as lamas secundárias, provenientes dos decantadores secundários, são mais densas e conseqüentemente, mais difíceis de processar que as lamas primárias. (SPELLMAN, 2003).

O conteúdo de sólidos presentes nas lamas primárias, secundárias ou até mistas varia consoante as características das lamas e também com o modo de operação da ETAR.

As características das lamas provenientes de diversos tipos de tratamento encontram-se resumidas na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 - Características físicas das lamas (Adaptado QASIM,1999)**

Tipo de lama	Descrição	Características		
		Sólidos (%)	Peso específico dos sólidos	Peso específico da lama
Primária	Cinzenta e fina com odor forte, SSV 60 - 70%. Facilmente digeridas por processos aeróbios ou anaeróbios	4 - 8	1.4	1.02
Secundária (lamas activadas)	Sólidos biológicos, lama com aparência castanha e floculenta. Quando fresca possui um cheiro terroso. Torna-se escura e séptica rapidamente e fica com um cheiro desagradável. O conteúdo em SSV é de 70 - 90%. Facilmente digeridas em digestores aeróbios e anaeróbios	0.8 - 2.0 (decantador)	1.25	1.005
		0.2 - 0.6 (tanque de arejamento)		

### 3.5.2 Espessamento de lamas

#### 3.5.2.1 Considerações introdutórias

As lamas possuem elevadas quantidades de água, sendo o espessamento utilizado como forma de concentrar os sólidos e reduzir o volume de água. Ao aumentar a concentração em sólidos, o tratamento das lamas pode ser feito de maneira mais económica, pois as lamas espessadas requerem menores volumes de tanques, tubagens de menor diâmetro e menores equipamentos de bombagem.

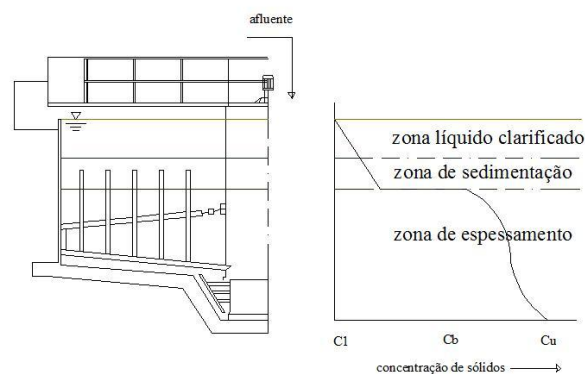
O espessamento fornece duplo benefício: equalização e aumento da concentração de lamas e armazenamento de lamas de forma a melhorar as operações a jusante.

Os métodos de espessamento incluem espessamento por gravidade, por flotação, por força por centrífuga e por prensagem.

### 3.5.2.2 Espessamento por gravidade

Os métodos por gravidade são os mais eficientes para espessar as lamas primárias. Em geral os resultados obtidos apresentam concentrações de 5 a 10% de sólidos para lamas primárias, 2-4% para lamas activadas e 4 - 6% quando se trata de lamas mistas (QASIM, 1999).

O espessamento por gravidade é realizado num tanque de sedimentação semelhante aos utilizados na decantação primária e secundária. Os sólidos que afluem ao espessador dividem-se em três zonas diferentes (Figura 3.3). A camada superior contém líquido clarificado. A camada intermédia é a zona de sedimentação, que usualmente contém um fluxo de lama mais densa que se move do afluente em direcção à zona de espessamento. Na zona de espessamento, as partículas individuais da lama aglomeram-se. Um manto de lama é mantido nesta zona onde a massa de lamas vai sendo comprimida pelo material continuamente adicionado na parte superior, saindo a água pelos espaços intersticiais. (QASIM, 1999). O sobrenadante proveniente do espessador é reencaminhado para a parte mais a montante da fase líquida da estação de tratamento.



**Figura 3.3 - Concentrações de sólidos nas lamas no interior de um espessador gravítico  
(Adaptado de QASIM, 1999)**

### 3.5.2.3 Espessamento por flotação

O principal objectivo do espessamento por flotação é a separação dos sólidos da água, sendo que estes irão tomar o sentido ascensional pelo acoplamento de micro-bolhas de ar às partículas dos sólidos em suspensão. As partículas sólidas em conjunto com as bolhas têm uma densidade inferior à água, tendendo a flutuar.

As principais variáveis do espessamento por flotação são a pressão, a taxa de recirculação, a concentração da lama alimentada, o tempo de retenção, o rácio ar/sólidos, o tipo e a qualidade da lama, as cargas hidráulica e de sólidos e o uso de produtos químicos.

A pressão de ar usada na flotação é importante visto determinar a saturação de ar ou o tamanho das bolhas formadas. Influencia igualmente a concentração de sólidos e a qualidade do sobrenadante. Em suma, quer o aumento de pressão, quer o aumento do caudal de ar, produzem melhor flutuação de sólidos.

O rácio ar/sólidos é função das características das lamas, como por exemplo, o SVI.

Como na sedimentação, o tipo e qualidade da lama a flutuar afecta o desempenho do órgão. O espessamento por flotação é principalmente aplicado para lamas activadas. A combinação de lamas primárias e lamas activadas permite resultados ainda mais positivos. Um SVI elevado resulta numa *performance* de espessamento baixa devido ao volume elevado de sólidos.

Assim, o desempenho (eficiência de remoção) deste tipo de equipamento depende da carga de sólidos, da concentração afluente e da carga hidráulica.

Os principais componentes deste sistema são uma bomba de alimentação de lamas, um caudalímetro, um misturador de polímero com equipamento de alimentação, um espessador por flotação, um painel de controlo eléctrico, um compressor de ar e uma bomba de saída das lamas. As suas principais vantagens em relação ao tratamento de lamas activadas são a fiabilidade, a elevada carga de sólidos, o custo de investimento reduzido, a melhor captura de sólidos. As desvantagens são o seu elevado custo de operação (energia e reagentes).

#### **3.5.2.4 Espessamento por centrífuga**

O espessamento utilizando centrífugas é um processo dispendioso a nível energético e com manutenção substancial. No entanto, é uma solução que pode ser viável economicamente, quando o custo do investimento e manutenção em equipamento é atenuado com a diminuição de custos de construção e volume dos processos a jusante.

### **3.5.3 Estabilização de lamas**

#### **3.5.3.1 Considerações introdutórias sobre digestão e sua opção anaeróbia**

Os principais objectivos da estabilização de lamas são reduzir os organismos patogénicos, eliminar odores e controlar a potencial putrefacção da matéria orgânica, reduzindo o conteúdo em compostos carbonáceos. A estabilização de lamas pode ser conseguida através de meios biológicos, químicos e físicos.

Existem diversos métodos de estabilização de lamas, tais como digestão anaeróbia, digestão aeróbia, estabilização química e condicionamento térmico. Nos últimos anos, devido à eficiência energética inerente e baixa necessidade de químicos ou de consumos energéticos, a digestão anaeróbia é o processo mais amplamente seleccionado para processos de estabilização em ETAR de média e elevada capacidade (QASIM, 1999). Por essa razão será a única forma de digestão tratada neste trabalho, quando realizada como operação unitária autónoma (o arejamento prolongado realiza a digestão aeróbia conjuntamente com a remoção de carga orgânica no tanque de arejamento).

A digestão anaeróbia é realizada em tanques onde os microrganismos anaeróbios estabilizam a matéria orgânica, produzindo metano e dióxido de carbono. A lama digerida é estável, com baixo valor de organismos patogénicos e adequada para condicionamento do solo. (QASIM, 1999)

As principais vantagens da digestão anaeróbia passam pela produção de metano, que é uma fonte de energia utilizável, pela redução da massa e volume das lamas, através da conversão da matéria orgânica presente nos sólidos voláteis em metano, dióxido de carbono e água.

As maiores desvantagens da digestão anaeróbia é o elevado custo económico, vulnerabilidade para perturbações operacionais, tendência para produzir sobrenadante de baixa qualidade e tempos de retenção hidráulicos elevados (ECKENFELDER, 1992).

A digestão anaeróbia envolve processos bioquímicos complexos onde diversos grupos de organismos anaeróbios e facultativos simultaneamente assimilam e quebram a matéria orgânica. Estes processos podem ser divididos em quatro fases: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese (AMARAL, 2009). Numa primeira fase, organismos convertem um complexo substrato orgânico em ácidos orgânicos voláteis. Nesta fase ocorrem poucas mudanças na quantidade total de matéria orgânica no sistema, diminuindo no entanto ligeiramente o pH do sistema. Numa segunda fase, existe uma conversão dos ácidos orgânicos voláteis em metano e dióxido de carbono. Este processo anaeróbio é essencialmente controlado por bactérias metanogénicas. Estas bactérias têm uma taxa de crescimento relativamente baixa e sobrevivem de 2 a 22 dias. Estas bactérias são sensíveis ao pH, condições de substrato e temperatura. Se o pH alcançar valores abaixo dos 6, a produção de metano cessa e a lama passa a não sofrer um decréscimo no conteúdo de matéria orgânica.

Os factores que têm de ser verificados para se obter uma eficiência dos processos bioquímicos referidos anteriormente são a alimentação da suspensão, a carga de sólidos totais e voláteis e a mistura, parâmetros que têm de ser controlados. A alimentação (input de suspensão) deve ser a mais concentrada possível (4 a 8% de sólidos) e alimentada continuamente ou frequentemente em baixas quantidades, a mistura deve ser contínua para providenciar o contacto das bactérias com a alimentação. Tem igualmente de ser garantido um tempo de retenção suficiente, de forma a permitir uma completa digestão. Os digestores devem operar a ou perto de toda a capacidade volumétrica. O ambiente deve ser mantido nas seguintes condições:

- Condições anaeróbias (sem oxigénio – ar)
- Temperatura (30 a 35°C – mesofílico e 55 a 60°C - termofílico)
- pH (7,1 – 7,5)
- Inexistência de material tóxico

A digestão anaeróbia de lamas pode ser conseguida através de dois tipos de processos: à temperatura ambiente e aquecida (mesofílica). Existe também a possibilidade de utilizar a estabilização em dois estágios (aquecida seguida de tanques à temperatura ambiente).

De seguida apresenta-se uma descrição destes processos, descrevendo-se também os parâmetros de dimensionamento presentes na bibliografia.

### **3.5.3.2 Digestão à temperatura ambiente num estágio (DATA)**

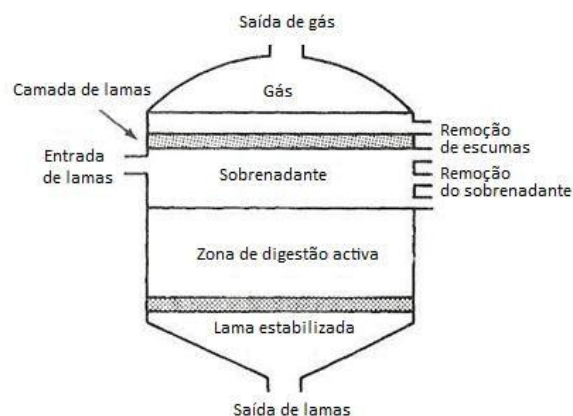
Na DATA não há mistura, sendo que, dentro do digestor, se formam diferentes camadas estratificadas. Este tipo de digestão é caracterizado por uma alimentação não contínua, cargas orgânicas baixas, elevado tamanho dos tanques devido ao pequeno volume efectivo (útil) e aos tempos de retenção entre os 30 e 60 dias.

Neste tipo de digestão, o conteúdo é misturado naturalmente através dos gases em ascensão. Nos tanques a lama divide-se em diferentes camadas, como se pode observar na Figura 3.4.



A lama entra no centro da zona de digestão activa e a água é libertada formando a camada sobrenadante. Os sólidos decompostos são mais pesados que o líquido e sedimentam no fundo. À medida que os gases se vão formando, ascendem até à camada de lamas, ultrapassam-na e são libertados na atmosfera. Estes gases carregam a lama menos densa até à superfície acima do sobrenadante e formam uma camada densa de espuma. O depósito de areias e outros materiais no fundo e a densa camada de espuma reduzem a capacidade efectiva do tanque. Assim, pode ser difícil obter uma lama bem digerida.

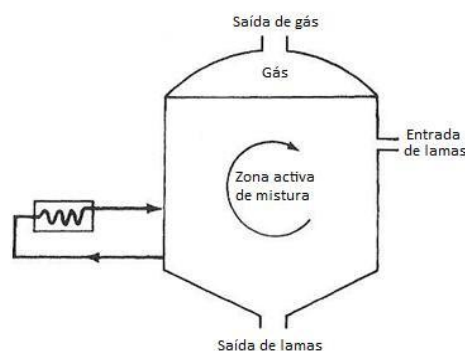
A eventual desvantagem económica global forçada pelo maior volume de tanque coloca-se em sede de comparação.



**Figura 3.4 - Esquema de um digestor convencional (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989)**

### 3.5.3.3 Digestão anaeróbia aquecida num estágio

A digestão a quente (ou do tipo contínuo) é caracterizada pelo aquecimento e agitação suplementares, alimentação contínua e espessamento de lamas antes da digestão. Nos digestores a funcionar correctamente, estes factores resultam em condições uniformes em quase todo o digestor. Assim, o volume de tanque necessário para uma digestão adequada é reduzido e a estabilidade do processo é melhorada. (VESILIND, 2003)

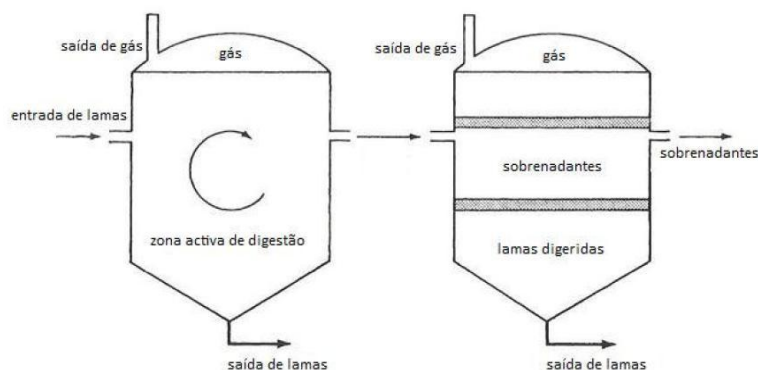


**Figura 3.5 – Esquema de um digestor tipo contínuo (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989)**

### 3.5.3.4 Digestão anaeróbia em dois estágios (aquecida e não aquecida)

A digestão a duas fases geralmente é uma combinação de um digestor em alta carga e um digestor em baixa carga. O primeiro tanque é um sistema de estabilização a quente enquanto o segundo

separa os sólidos digeridos do sobrenadante. O segundo digestor não tem agitação nem é aquecido. Este digestor tem o benefício de conter um grande volume de lamas activas que podem ser utilizadas para corrigir o pH ou evitar problemas de toxicidade ao invés de recorrer a produtos químicos. Este tipo de digestão evoluiu no sentido de dar uma produção de biogás adicional. Este processo é bem-sucedido quando o sistema é alimentado de lamas primárias ou combinações de pequenas quantidades de lamas secundárias. A adição de lamas activadas ou outro tipo de lamas provenientes de tratamentos secundários no processo de digestão a duas fases pode causar o aumento abrupto dos custos operacionais e baixas eficiências. A razão para tal problema advém da adição de sólidos que não sedimentam com facilidade após digestão.



**Figura 3.6 – Esquema de digestão em duas fases (Adaptado de Novotny & Imhoff, 1989)**

### 3.5.3.5 Dimensionamento

Os factores mais importantes no controlo do dimensionamento e operação de digestores anaeróbios são a forma do tanque, a capacidade de digestão, o aquecimento e controlo de temperatura, a mistura, a produção de gás e a sua utilização, a cobertura do digestor, a qualidade do sobrenadante e as características da lama.

Os digestores anaeróbios podem ser cilíndricos, rectangulares ou com forma de ovo. Os digestores cilíndricos são os mais comuns e o seu diâmetro varia de 6 a 40m. A base é cónica com um rácio de 1m vertical para 4 horizontal. Os digestores cilíndricos têm alturas variáveis de 7 a 14 metros.

A capacidade de digestão é geralmente baseada no tempo de retenção de sólidos, na carga volumétrica, na população e na redução observável de volume.

Os digestores em baixa carga são dimensionados para um período de digestão de 30 a 60 dias. Um digestor em alta carga é normalmente dimensionado para períodos mais curtos, de 10 a 20 dias visto os sólidos estabilizarem adequadamente neste período.

A capacidade de digestão é estimada igualmente utilizando a carga volumétrica. A carga volúmica é normalmente expressa em quilogramas de sólidos voláteis totais adicionados por  $m^3$  de capacidade de digestão. As cargas volumétricas para uma digestão a frio que recebe lamas activadas e primárias variam de 0,64 a 1,60 kg SV/ $m^3$ .d. Para um digestor a quente as cargas volumétricas variam de 2,40 a 6,41 kg SV/ $m^3$ .d (QASIM, 1999).

Durante a digestão, o volume de sólidos é reduzido e uma determinada quantidade de sobrenadante pode retornar à estação.

As lamas nos digestores anaeróbios devem ser misturadas devidamente para oferecer um máximo rendimento. A mistura de lamas tem como principais benefícios:

- Manter um contacto íntimo entre a lama alimentada e a biomassa activa
- Criar uma uniformidade física, química e biológica ao longo do digestor
- Dispersar rapidamente os produtos finais e químicos tóxicos a entrar nos digestores
- Prevenir a criação de camadas.

Uma certa quantidade de mistura natural existe num digestor anaeróbio causado pela ascensão das bolhas de gás e da convecção térmica criada pela adição de lama aquecida. No entanto, a mistura natural não é suficiente, sendo que, mistura adicional é necessária. Os métodos utilizados para misturar a lama no digestor incluem circulação por bombagem externa, mistura mecânica interna e mistura interna de gás.

A produção de gás é de maior interesse para a utilização de lamas como fonte de energia. O gás proveniente da digestão tem cerca de 60 a 70 % de metano, 25 a 30% de dióxido de carbono e pequenas quantidades de hidrogénio, azoto, sulfídrico e outros gases. O gás tem um valor térmico de 21000 a 25000kJ/m<sup>3</sup> e 86% da densidade do ar. (O ar pesa cerca de 1,162kg/m<sup>3</sup>)

Na estimativa de quantidades produzidas podem ser utilizados indicadores de produção de biogás, tais como:

- 0,5 – 0,75m<sup>3</sup>/kg de carga de sólidos voláteis;
- 0,75 a 1,12m<sup>3</sup>/kg de sólidos voláteis reduzidos;
- 0,03 a 0,04m<sup>3</sup> por pessoa dia.

O sistema de recolha de gás inclui coberturas fixas ou flutuantes, tubagens de gás, válvulas reguladoras de pressão, queimador, compressores de gás, medidores de gás e um gasómetro. De notar que os gases de digestão fazem uma mistura explosiva aquando do contacto com o ar. Assim, é necessário tomar algumas precauções para que tal não aconteça. (QASIM, 1999)

### **3.5.4 Desidratação de lamas**

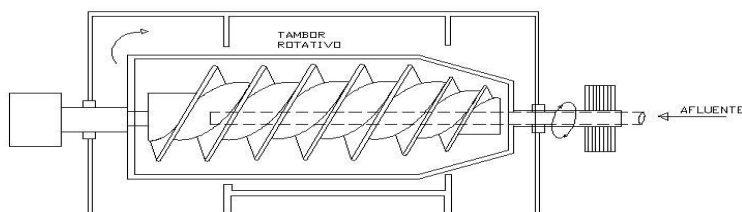
Os principais objectivos da desidratação de lamas são a redução do teor de humidade das lamas, a redução do seu volume, a redução dos custos com transporte de lamas para destino final, a melhoria da movimentação e armazenamento de lamas, a viabilização de processos de compostagem de lamas ou a viabilização da deposição de lamas em aterro.

A selecção do sistema de desidratação de lamas depende de uma série de factores, tais como a característica da lama a ser desidratada, espaço disponível e qual o destino final das lamas.

Existem diversos sistemas de desidratação:

- Natural: leitos de secagem (simples/assistidos/cobertos), leitos de macrófitas;
- Mecânica: filtros de banda, filtros de prensa, filtros sacam, centrífugas (Figura 3.7), prensas de parafuso, entre outros.

Para o dimensionamento do modelo a adoptar no presente trabalho não se considera a desidratação, visto a nível prático ser semelhante para ambos os sistemas em estudo.



**Figura 3.7 – Desidratação de lamas – Centrífuga**

**Tabela 3.6 - Características físicas das lamas por desidratar e desidratadas (Adaptado de EPA,1974)**

Tipo de lama	Características da lama desidratada		
	Sólidos (%)	Sólidos recuperados (%)	Adição de Polímero
Lama digerida (primária + lamas activadas)	15-30%	80-95%	Sim

### 3.6 Dimensionamento hidráulico de uma ETAR

O dimensionamento hidráulico correcto de uma estação é de enorme importância, visto ter de se garantir que:

- O caudal de entrada nas unidades do processo não é excedido durante os períodos de maior caudal
- Não ocorre o transbordo de tanques e canais
- Se previne a sobrecarga de afluente nos colectores e emissários
- As bombas entre estágios do processo estão bem dimensionadas
- As velocidades nas tubagens são adequadas para a sua autolimpeza prevenindo assim a deposição.

Num sistema construído por gravidade, a diferença de nível tem de ser superior às perdas de carga da tubagem. Nos sistemas de bombagem, a energia providenciada tem de ser suficiente para ultrapassar a diferença de nível e as perdas de carga, contínuas ou localizadas.

As perdas de carga contínuas têm a sua causa no atrito presente na tubagem, dependendo da sua composição. As perdas de carga localizadas são por exemplo as curvas das tubagens, válvulas, junções, caudalímetros, entradas e saídas de tanques e tubagens, divisão e junção de caudais, tanques de sedimentação, obstrução de canais entre outros.

QASIM(1999) descreveu os princípios básicos que devem ser considerados aquando da preparação de um perfil hidráulico tais como:

- Os perfis têm de ser preparados para responder ao pico de caudal (que representa a maior perda de carga através de uma unidade de tratamento), caudal médio e caudal mínimo;
- Os perfis estão preparados para todos os caminhos de fluxo;

- A perda de carga total através das ligações das tubagens e canais é a soma das perdas de carga devidas à entrada, saída, alargamentos, estrangulamentos, comportas, válvulas e perdas contínuas; a perda de carga para futura expansão da unidade de tratamento deve ser incluída no dimensionamento;
- A perda de carga total de uma estação de tratamento é a soma das perdas de carga nas unidades de tratamento e na tubagem de conexão e instrumentação;
- Uma velocidade mínima (normalmente tomada como 0,3m/s) na conexão de tubagens e condutas devem ser incluídas;
- Devem ser estabelecidos os níveis máximos de água no emissário, a profundidade e a inclinação do canal de chegada e de descarga e os níveis de máxima cheia.

As bombas utilizadas no tratamento de água residual são centrífugas e volumétricas. As bombas centrífugas são mais utilizadas na bombagem de água residual enquanto as bombas volumétricas são mais utilizadas para a bombagem de lamas.

As bombas centrífugas contam com a força transmitida a um fluido por um rotor rotativo para dirigi-lo para a descarga da bomba. O tamanho, velocidade e configuração do impulsor têm uma influência sobre a quantidade de líquido que uma bomba pode manipular. As bombas centrífugas podem ser submersíveis e não submersíveis. As bombas submersíveis são completamente seladas contra entradas de água.

Existem diversos tipos de bombas volumétricas tais como de diafragma, de pistão ou de cavidades progressivas, entre outras. A sua operação é caracterizada por uma cavidade que opera ciclicamente como sucção e câmara de descarga. (EPA, 1997)



## **4 METODOLOGIA A ADOPTAR**

### **4.1 Considerações de base**

No pré-dimensionamento processual das duas alternativas de depuração em foco os vários factores são influenciadores, mas os mais importantes são (i) a caracterização qualitativa e quantitativa da água residual a ser tratada e (ii) qual a qualidade necessária para o efluente a descarregar. Outras restrições serão, por exemplo, a área disponível, a altimetria, o tipo de solos de fundação, a proximidade do meio receptor, os acessos, a temperatura do ar.

A escolha do sistema a adoptar está condicionada pelos factores seguintes:

- Económicos;
- Operacionais e de gestão;
- Ambientais.

O sistema de tratamento de custo mínimo pode não ser a melhor alternativa para os objectivos a longo prazo. Há que considerar uma análise multicritério que considere o maior número de aspectos possíveis. No entanto, nesta dissertação, é somente a componente económica que é avaliada.

### **4.2 Pressupostos do modelo**

O estudo apresentado possui características médias, isto é, baseia-se em situações correntes. Serve de base a decisões preliminares e exclui definitivamente soluções com muita baixa competitividade. Quando aplicadas as conclusões a casos concretos, deverá ser entendida dentro de um quadro de pressupostos que lhe serviram de base. Tudo o que exceder esses pressupostos deve ser analisado e considerado.

Os principais pressupostos considerados foram os seguintes:

- As instalações a comparar são obras novas sem condicionamentos particulares, ou havendo condicionamentos, eles não implicam a distorção da comparação, isto é, os condicionalismos provocam o mesmo desvio no custo médio que se está a considerar;
- Admite-se que o portão, a portaria, o edifício de apoio, a obra de entrada, o by-pass, a eventual desinfecção de efluente para fins compatíveis, as cisternas de água são irrelevantes para a comparação económica;
- Não se considera a fiabilidade de cada um dos sistemas, de difícil adaptação à metodologia de custos, admitindo-se que qualquer dos tipos de tratamento vão originar resultados capazes de cumprir a legislação e que o facto de um poder ser considerado superior se considera um excesso em relação ao necessário;
- Os limites de descarga considerados são os estipulados pelo Decreto-Lei nº152/97 para o CBO<sub>5</sub> e SST, não sendo considerados os limites de descarga de Nt e Pt, visto o meio receptor pressuposto ser um meio não sensível;
- Considera-se que para todos os sistemas em comparação as ETAR respeitam os limites de descarga, não sendo alocada qualquer verba para transporte em camião cisterna ou coimas associadas ao não cumprimento dos limites;

- Não foram consideradas, nos custos globais de equipamento e construção, algumas fases do processo, como anteriormente descrito, nomeadamente no tratamento preliminar, prensas de desidratação e tratamento terciário;
- Os custos de construção civil e de equipamentos considerados nas fases do processo consideradas como diferenciadoras para os diferentes sistemas em comparação foram baseados em obras construídas ou em fase de construção por empresas de referência no sector;
- Foram considerados para o cálculo dos diferentes órgãos diferentes custos de construção civil, directamente dependentes da quantidade de betão, aço (espessura e densidade) e cofragens a utilizar, definidos através de valores de referência no sector;
- Para o cálculo das pontes raspadoras e bombas, consideraram-se curvas de custo, obtidas de diversos valores de referência, variando em relação ao diâmetro e ao caudal respectivamente;
- Para o cálculo de equipamentos cuja tipologia não difere mas sim a quantidade a fornecer e montar, consideraram-se custos unitários, como por exemplo, os difusores e seus sistemas de encaixe;
- Devido à diversidade dos cálculos a efectuar, no dimensionamento de bombas considerou-se alturas manométricas iguais para as bombas em comparação;
- O custo de construção do edifício de cogeração é 15% do custo do equipamento de cogeração;
- O custo da energia eléctrica consumida nos diferentes sistemas foi calculado consoante o horário de consumo e custo associado para tarifas de média tensão (ERSE, 2012);
- O proveito da venda por kW de energia eléctrica produzida nos motogeradores foi considerada como sendo de 12 cêntimos.

### **4.3 Aspectos semelhantes ou sem aplicação no âmbito da comparação de custos**

Nas ETAR baseadas em sistemas de arejamento prolongado e de arejamento convencional, alvo de comparação de custos, existem componentes que são suficientemente semelhantes para que, no âmbito deste trabalho, não exista a necessidade de serem dimensionadas ou pré-concebidas genericamente, para efeitos de obtenção de custos, partindo-se do princípio de que, para ambos os sistemas, os custos de construção e exploração correspondentes são suficientemente semelhantes.

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se esses casos.

#### **4.3.1 Obras gerais de construção civil e electricidade**

Uma ETAR é muito mais do que uma cadeia de operações unitárias. Muitos trabalhos de apoio aos órgãos por onde fluem as águas residuais e lamas têm de ser executados: portões, vedações, edifícios de apoio, redes gerais, alimentação de água e electricidade, arruamentos, caminhos pedonais, instalações telefónicas, iluminação eléctrica, instalações de segurança, embelezamento do espaço circundante.



Será facilmente aceite não serem considerados, para efeitos relativos, os custos de construção e manutenção dos edifícios de apoio à estação. A concepção destes edifícios está mais relacionada com as opções específicas de cada Dono da Obra do que com a capacidade de tratamento instalada, medida em termos de caudal ou população equivalente. É certo que ETAR de maior dimensão possuem genericamente edifícios de maior dimensão, mas as opções tomadas não são consequência do tratamento ser de um ou de outro tipo. Para o mesmo enquadramento (Dono da Obra, restrições financeiras, espaço disponível, altimetria, entre outros parâmetros) os edifícios serão virtualmente iguais. Mesmo no caso de edifícios de cobertura aos equipamentos de desidratação de lamas, a questão coloca-se em termos de existir menor ou maior área livre no interior, mas pouco variável.

Já alguns dos outros trabalhos referidos no início deste subcapítulo dependem ligeiramente da solução de tratamento. Algumas soluções ocupam mais área do que outras, mas face ao carácter simplificado deste estudo não se justifica considerar as suas diferenças, que são realmente muito reduzidas. Maior necessidade de área de implantação origina maior comprimento de vedação, por exemplo, mas a escolha do terreno e consequente vedação parte mais do cadastro de prédios urbanos existentes do que da análise das necessidades mínimas da ETAR, em termos processuais.

No caso dos dois tipos de tratamento em discussão nesta dissertação as áreas utilizadas nem são muito diferentes quando não existem restrições em termos de área disponível e se trata de uma gama populacional já razoável. De forma simples pode colocar-se o assunto da seguinte forma: a menos que se escolham opções construtivas e tecnológicas pouco correntes (por exemplo, aumentando muito a altura dos reactores) as lamas activadas de baixa carga multiplicam por cerca de 4 a área de implantação do reactor, mas poupam área de implantação nos decantadores primários e nos digestores, incluindo gasómetro. A forma como esta pode ser significativa depende mais da opção individual do Dono da Obra e do Projectista do que do processo escolhido. Os critérios de estabelecimento de circulações, acessos aos equipamentos são mais relevantes e podem transformar a diferença num valor desprezável. Exemplificando: implantar um grande tanque de arejamento num terreno muito declivoso e granítico pode ser mais desfavorável em termos de custos do que uma estação por lamas activadas convencionais em que os órgãos de tratamento adicional, se colocam em patamares mais próximos do terreno natural, sem necessidade de grandes movimentos de terras e de muros de suporte.

### **4.3.2 Tratamento preliminar**

Qualquer estação depuradora de águas residuais, de lamas activadas ou não, tem necessidade de iniciar a sua cadeia de tratamento, com o designado tratamento preliminar (mecânico, físico ou físico-químico), nomeadamente a gradagem, o desengorduramento e a desarenação. Esta parte da ETAR costuma chamar-se “obra de entrada” e inclui, quando necessário, devido às condições topográficas ou condições de afluência, além das operações referidas, a estação elevatória à cabeça, geralmente a jusante das operações descritas, que a protegem. Pode afirmar-se, assim, sem margem para dúvidas, que os custos dos trabalhos de construção civil, equipamento, electricidade e de toda a exploração associada à obra de entrada são iguais em ambas as soluções.

### 4.3.3 Estações elevatórias do processo

Para uma comparação simplificada, mas com suficiente rigor para o objectivo, o custo total da recirculação de lamas dos dois sistemas (construção e energia), foi considerado igual em ambas as situações, sendo retirado da análise.

Teoricamente a situação deveria ser incluída, porque as características das lamas são ligeiramente diferentes e porque uma operação otimizada deveria adaptar-se, em tempo real, às condições efectivas, com grupos de velocidade variável ou, de outro modo, usando vários grupos recirculadores, com arranques controlados, consoante as necessidades ao longo do dia.

Porém, a situação prática é muito diferente, particularmente em Portugal. Correntemente, a recirculação é fixada num valor (100% de recirculação, por exemplo) e mantém-se sem variação ao longo do tempo, resultando em custos semelhantes.

Também as outras estações elevatórias do processo (tipicamente estações de elevação de escumas, escurências, sobrenadantes e lamas espessadas) têm pouca diferença de custos. Em termos de consumos energéticos estas estações elevatórias têm custos semelhantes, especialmente porque funcionam pouco tempo em cada dia, ao contrário da estação de recirculação.

### 4.3.4 Desidratação

Apesar das soluções de arejamento convencional e prolongado se distinguirem pela diferente quantidade de lamas produzidas, considera-se que, na prática, a fase de desidratação apresenta custos de construção civil e fornecimento e montagem do equipamento muito idênticos, sendo por isso, para o presente estudo comparativo, não contabilizados. No entanto, para a comparação de custos de operação, considera-se a quantidade de reagentes utilizados, nomeadamente o polielectrólito.

### 4.3.5 Tratamento terciário

Na concepção da modelação teórica, assumiu-se que o meio receptor é um meio não sensível, pelo que se considera que o objectivo das estações de tratamento a dimensionar, consiste unicamente na remoção de  $\text{CBO}_5$  e SST. Deste modo, no âmbito deste trabalho, não é necessário efectuar o dimensionamento do tratamento terciário, bem como proceder à análise comparativa da sua eficiência e dos seus custos.

### 4.3.6 Tubagem e acessórios dos circuitos hidráulicos

Os custos associados aos sistemas de transporte das águas residuais entre as várias operações da cadeia de tratamento das ETAR, incluindo as tubagens de *by-pass* geral e intermédias, não foram considerados, visto serem bastante semelhantes, em ambas as soluções.

O caudal circulante nos circuitos da fase líquida depende do caudal afluente, igual em ambos os casos, provocando, portanto, diâmetros iguais. Na fase sólida os caudais são ligeiramente diferentes, mas face às folgas associadas aos critérios de dimensionamento o resultado concreto em termos de diâmetros é o mesmo.

A única diferença ocorre em relação aos comprimentos, porque o *layout* é diferente e existem mais circuitos nas ETAR por lamas activadas convencionais. Esta diferença não é suficiente para justificar a pormenorização dos valores e sua contabilização na análise comparativa.

### **4.3.7 Custos fixos de exploração**

Existem custos fixos, que são comuns a qualquer tipo de ETAR, tais como: custos com pessoal, telecomunicações, viaturas, combustível e implementação de sistemas de controlo de qualidade. No caso dos dois sistemas de tratamento em estudo, estes tipos de custos são praticamente idênticos, pelo que não foram tidos em conta.

## **4.4 Aspectos diferenciadores dos sistemas em comparação de custos**

### **4.4.1 Introdução ao capítulo**

Pretende-se com esta dissertação apresentar resultados de um modelo de comparação entre ETAR baseadas em sistemas de lamas activadas por baixa e média carga. Esse modelo é simplificado, mas equilibrado em termos dos recursos gastos na sua concepção e aplicação e na fiabilidade dos resultados produzidos. Estes resultados serão a determinação de faixas de dimensão populacional equivalente servida por uma ETAR, para as quais, seja mais favorável qualquer das opções, a nível global (construtivo e energético).

Neste capítulo apresentam-se os vários componentes de uma ETAR em que o modelo actua de forma diferenciadora de custos. Todos os restantes aspectos são considerados suficientemente semelhantes ou irrelevantes na comparação.

### **4.4.2 Tratamento primário**

Tal como foi explicado no Capítulo 3, para o sistema de lamas activadas em arejamento prolongado, com uma baixa relação F/M e uma idade de lamas elevada, não se procede, tipicamente, ao tratamento primário do afluente.

Já para o sistema de lamas activadas em arejamento convencional, irá efectuar-se o dimensionamento de decantadores primários, localizados a montante do tratamento biológico. Vai considerar-se que este tipo de tratamento assegurará a remoção até 30% de carga orgânica das lamas, o que reduz o volume do reactor biológico de uma forma adicional.

### **4.4.3 Reactor biológico**

O reactor biológico é um dos órgãos que mais influencia a decisão sobre o tipo de tratamento a seleccionar, tendo em conta a sua importância em todo o processo de tratamento.

Utilizam-se os critérios de projecto correntes, já apresentados no Capítulo 3, para conseguir uma eficiência de remoção de  $\text{CBO}_5$  aceitável nos dois sistemas em estudo. Os principais parâmetros de dimensionamento são a relação F/M, a idade de lamas, e a concentração da biomassa em suspensão no reactor.

O sistema de arejamento adoptado em ambos os sistemas, consiste no arejamento por difusores, uma vez que o recurso às turbinas para este efeito, é cada vez menos utilizado para o dimensionamento de ETAR.

Como para sistemas de lamas activadas em baixa carga a idade de lamas é bastante superior à dos sistemas correspondentes de média carga, o reactor em baixa carga consome mais energia e implica

maior investimento em movimento de terras e construção do que o reactor de média carga. Também é lógico esperar que estes custos aumentem com o aumento da dimensão populacional contribuinte. Porém, não existe proporcionalidade absoluta entre estas variáveis, aproximando da proporcionalidade o caso da energia.

#### **4.4.4 Decantação secundária**

Para o dimensionamento da decantação secundária, consideram-se cargas hidráulicas diferentes -  $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  para BC, e  $22\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  para MC -, tornando assim o volume dos decantadores bastante diferente, o que os torna passíveis de constituir objecto de comparação de custos entre os sistemas em estudo.

Dado o carácter simplificado da comparação não se utilizou a carga de lamas como parâmetro de dimensionamento, porque a carga hidráulica considerada resulta nos mesmos efeitos.

#### **4.4.5 Tratamento de lamas**

##### **4.4.5.1 Adensamento de lamas**

Para qualquer dos sistemas em discussão é, geralmente, economicamente viável o espessamento das lamas excedentes purgadas do tanque de arejamento. O aumento da concentração de lamas a desidratar e consequente diminuição do seu volume, reflecte-se num menor gasto de energia e polielectrólito aquando da desidratação.

Adicionalmente, para sistemas em arejamento convencional, a diminuição do volume de lamas advindas do processo de espessamento permite a redução do volume dos órgãos de digestão e consequente menor custo de construção e exploração envolvido.

Frequentemente considera-se economicamente viável o adensamento de lamas através de centrífugas, sendo o custo de investimento deste tipo de equipamentos abatido na diminuição do espaço utilizado e da redução de custos de construção do volume dos tanques a jusante do espessamento. No entanto, visto que para o desenvolvimento do modelo de comparação se criaram pressupostos base definidos, apenas se considera o adensamento por espessamento gravítico.

No presente estudo, considera-se que não é exequível construir espessadores com menos de 4 metros de diâmetro, visto os seus custos de construção e de manutenção, não apresentarem mais-valias de custo/eficiência.

Assim, no dimensionamento das soluções com baixa produção de lamas, não será tido em conta o adensamento de lamas. As lamas primárias e/ou secundárias irão, neste caso, directamente para a desidratação com os impactes esperados no dimensionamento das tubagens, grupos e equipamento pesado.

O adensamento existirá para os dois sistemas. O elemento diferenciador será o pré-dimensionamento, uma vez que a produção de lamas será diferente, consoante o caso (a produção de lamas em baixa carga, é inferior à produção de lamas nos sistemas em média carga, quando considerada em termos de massa).

#### **4.4.5.2 Digestão**

Devido à elevada idade das lamas no reaktor em sistema de arejamento prolongado (baixa carga), não existe necessidade de estabilização separada de lamas.

Nos sistemas de média carga, por outro lado, é realizada a estabilização com digestão anaeróbia separada, à temperatura ambiente ou com homogeneização e aquecimento (digestão anaeróbia mesofílica), partindo do princípio que o aproveitamento energético, se pode tornar vantajoso a nível económico, a partir de certas populações, que serão determinadas no decorrer do presente trabalho.

#### **4.4.5.3 Desidratação – reagentes**

Apesar de se considerar, na desidratação, que o número de prensas a utilizar são as mesmas, visto a sua capacidade se manter variando os seus consumos energéticos consoante as lamas a desidratar e o número de horas de funcionamento, que a cuba de preparação de polielectrólito é igual e que as bombas de alimentação apresentam o mesmo custo, a quantidade de reagente a utilizar em BC e MC são diferentes, devido à menor produção de lamas em BC. Assim, os custos de reagentes e consumos das prensas serão considerados nos custos de operação e englobados na comparação.

### **4.5 Critérios hidráulico–sanitários utilizados no pré-dimensionamento**

#### **4.5.1 Introdução à metodologia**

Para desenvolver um modelo de dimensionamento que permita comparar os sistemas de lamas activadas em MC, com e sem aproveitamento energético, e de BC, foi necessário definir critérios e parâmetros para que se obtivessem valores (áreas, volumes, potências, caudais) que permitam aferir custos associados ao dimensionamento dos diferentes órgãos visando obter resultados que definam quais as melhores soluções de tratamento.

Para tal, definem-se de seguida os critérios utilizados.

#### **4.5.2 Tratamento primário**

Para o dimensionamento do tratamento primário, considera-se que a área de implementação das diferentes ETAR não é um factor limitante, pelo que apenas se apresenta, no presente modelo, o dimensionamento de decantadores primários circulares em detrimento dos rectangulares. Tal facto deve-se à tentativa de simplificação do modelo.

Os critérios de dimensionamento utilizados no presente modelo para decantadores primários são os seguintes:

**Tabela 4.1 - Número de decantadores em função da população**

<b>Intervalo de População (habitantes)</b>	<b>Nº de decantadores primários</b>
[5.000 – 29.999]	2
[30.000 – 60.000]	3

**Tabela 4.2 - Critérios de dimensionamento dos decantadores primários**

<b>Critérios decantação primária</b>	<b>Valores</b>
Carga Hidráulica	30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Altura dos decantadores	4 m
Diâmetro máximo dos decantadores	40,0 m

Considera-se que a recirculação de lamas nos sistemas de lamas activadas em arejamento convencional se realiza a montante do tanque de arejamento, pelo que para o dimensionamento do tratamento primário não se considera o caudal de recirculação.

### **4.5.3 Tratamento secundário**

#### **4.5.3.1 Tanque de arejamento de lamas activadas**

Os parâmetros de dimensionamento dos tanques de arejamento das diferentes ETAR a dimensionar no modelo são diferentes consoante o sistema é de arejamento prolongado ou convencional.

**Tabela 4.3 - Número de reactores em função da população**

<b>Intervalo de População (habitantes)</b>	<b>Nº de reactores</b>
[5.000 – 29.999]	2
[30.000 – 60.000]	3

**Tabela 4.4 – Características geométricas e hidráulico - sanitárias do reactor**

Critérios Reactor	Sistemas	
	Arejamento Prolongado	Arejamento Convencional
SST ( $\text{Kg/m}^3$ )	6	3
SSV ( $\text{Kg/m}^3$ )	4	2.1
F/M ( $\text{Kg CBO}_5/\text{Kg MVS.dia}$ )	0.8	0.3
fv( $\text{Kg CBO}_5/\text{m}^3.\text{dia}$ )	0.2	0.8
Idade de Lamas (dias)	$\geq 30$	4 a 8
Necessidade de Oxigénio ( $\text{kgO}_2/\text{kg CBO}_5$ afluente)	2	2
Altura do reactor (m)	5	5
Bordo Livre (m)	1	1
Comprimento/Largura	3:1	3:1

#### 4.5.3.2 Decantação secundária

Os critérios considerados para o dimensionamento da decantação secundária encontram-se na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 - Características geométricas e hidráulico-sanitárias dos decantadores secundários**

Critérios de dimensionamento de decantadores secundários	Valores	
	Arejamento Prolongado	Arejamento Convencional
Carga hidráulica	$12 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$	$22 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$
Altura	4.5 m	4.5 m
Carga de sólidos	$3.5 \text{ Kg/m}^2.\text{h}$	$5 \text{ Kg/m}^2.\text{h}$
Diâmetro máximo	40 m	40 m

## 4.5.4 Tratamento de lamas

### 4.5.4.1 Espessador gravítico

**Tabela 4.6 - Características hidráulico-sanitárias dos espessadores gravíticos**

<b>Tipo de lamas</b>	<b>Concentração de sólidos do afluente (%)</b>	<b>Concentração de sólidos espessados (%)</b>	<b>Carga de sólidos (Kg/m<sup>2</sup>.d)</b>	<b>Retenção de sólidos (%)</b>
Lamas Primárias	3.5	7.5	115	92
Lamas activadas	0.8	3	22	72
Lamas mistas	1	4	55	88

Para o dimensionamento dos espessadores gravíticos considera-se uma altura de água de 4 m. (QASIM, 1999)

### 4.5.4.2 Digestores anaeróbios

No dimensionamento dos digestores anaeróbios mesofílicos (DAM), utilizaram-se os seguintes parâmetros:

Para os DAM, considerou-se sempre a construção de dois digestores. O equilíbrio da digestão e o controlo a nível de parâmetros tais como o teor de metano, dióxido de carbono, ácidos gordos voláteis é difícil, pelo que convém ter sempre dois órgãos para, no caso de uma descida acentuada do metano, um aumento do dióxido de carbono e um aumento exponencial de ácidos gordos voláteis (acima dos 4000mg/l) seja possível um “mixing” de matéria de um digestor estável para o outro instável (após paragem na alimentação) e permitir a estabilização do sistema, evitando possíveis novas inoculações, muito dispendiosas tanto a nível de transporte, como a nível de quebra de produção de biogás.

**Tabela 4.7 - Parâmetros considerados de dimensionamento dos digestores anaeróbios**

<b>Critérios digestores anaeróbios</b>	<b>Digestor a temperatura ambiente</b>	<b>Digestor anaeróbio mesofílico</b>
Tempo de retenção de sólidos (d)	50	21
Temperatura (°C)	12	35
<b>Concentração de sólidos</b>		
Montante do digestor – Lamas mistas (%)	4	4
Lamas digeridas (%)	5	5
<b>Altura Arbitrada (m)</b>	15	10



**Tabela 4.8 - Parâmetros considerados de dimensionamento de digestores anaeróbios mesofílicos (QASIM, 1999)**

Parâmetro	Digestor anaeróbio mesofílico
Produção de gás	0,75m <sup>3</sup> /kg SV
	0,04m <sup>3</sup> /capita
Teor médio de metano (%)	65
Necessidades energéticas por permutador	1,25x10 <sup>6</sup> kJ/h
Capacidade energética do biogás	24300 kJ/h
Capacidade do gasómetro	3 dias
Eficiência do compressor	80%
Viscosidade do biogás	1,46 x 10 <sup>-3</sup> N s/m <sup>2</sup>

## 4.6 Critérios económicos

### 4.6.1 Bases para a estimativa dos custos e análise económica

A estimativa dos investimentos a realizar em termos comparativos foi baseada em custos unitários de construção nova e exploração (operação e manutenção) e em economias de escala.

Segue-se a metodologia de Pereira 2010, ainda em publicação, onde foram estudados os conceitos utilizados no decorrer deste trabalho.

#### 4.6.1.1 Noção de função de custo e de economia de escala

Pode definir-se uma função de custo, como uma relação capaz de estimar custos em termos de valores de variáveis independentes, facilmente conhecidas, chamadas factores (ou determinantes) de custo. Não se trata de uma estimativa pontual em que é determinado um único valor, a partir de uma situação concreta. Trata-se sim de uma expressão capaz de representar uma gama contínua de custos potenciais. (PEREIRA, 2010)

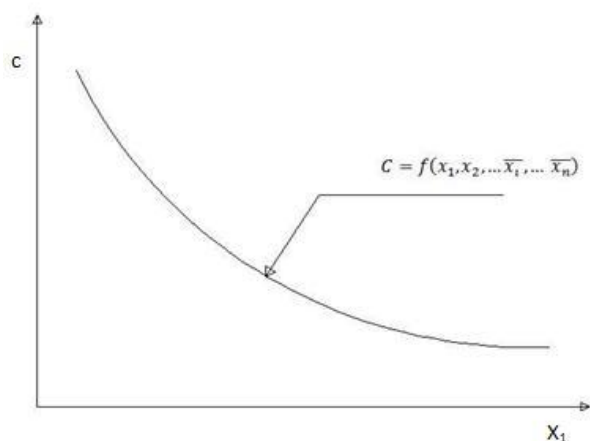
Uma função de custo pode descrever-se na seguinte forma geral:

$$C = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$$

Onde:

- C = custo a estimar ( de investimento, de operação, etc.)
- f = função matemática
- $x_i$  = variável independente de ordem i (volume ou área útil, população equivalente, caudal, potência, etc.)

Se se dá liberdade a um só factor ( $x_1$ , por exemplo) e se mantêm constantes os restantes, a resposta do custo ao factor não controlado é representada pelas funções de custo simples. Se se utiliza mais do que um dos factores a equação ganha em rigor e perde em comodidade. Na sua apresentação, muitas vezes utiliza-se a forma gráfica, para além da matemática, o que permite uma visualização mais fácil (Figura 4.1).



**Figura 4.1 - Função de custo hipotética (adaptado de PEREIRA, 2010)**

Onde:

- $C$  = custo por habitante equivalente, por exemplo
- $X_1$  = Variável não controlada (população equivalente, por exemplo)

As equações de custo devem ser concisas e práticas, reflectindo, de uma maneira simples, a complexidade da orçamentação rigorosa. A elaboração de equações mais complexas só se justifica em casos especiais, dado que o rigor conseguido pelas funções compactas é suficiente para os objectivos habituais.

O conhecimento antecipado do custo aproximado de uma estação de tratamento é um instrumento necessário a vários níveis de decisão e em várias actividades relacionadas com a gestão da qualidade da água, nomeadamente na gestão integrada de recursos hídricos, controlo regional da poluição da água, planeamento financeiro de empreendimentos destinados a atingir determinados objectivos ambientais, optimização de processos de tratamento de águas residuais e de águas de abastecimento, planeamento de sistemas de taxas sobre as entidades poluidoras ou estudos de expansão de capacidade, sob restrições qualitativas em evolução, entre outros.

A optimização do dimensionamento das ETAR e dos sistemas de transporte necessário torna a realização de um modelo global extremamente difícil de executar. Contudo, se for possível substituir o modelo de optimização da ETAR por uma equação capaz de representar o custo optimizado em função de todas as suas características gerais o problema é facilitado. A obtenção de um modelo de custo deste tipo, capaz de substituir o modelo mais complexo com suficiente grau de rigor é, portanto, um objectivo a atingir. (PEREIRA, 2010)

Por economia de escala entende-se a tendência para se reduzirem os custos específicos com o aumento da dimensão da instalação.

#### **4.6.2 Custo de construção civil**

Os custos de construção civil adoptados são estimativas de preços unitários dos diferentes componentes construtivos. Utilizaram-se valores conhecidos de obras em construção ou estação já em funcionamento. Para simplificação do modelo, optou-se por utilizar alguns valores conservativos e iguais para todos os órgãos.

#### **4.6.2.1 Escavação, aterro e vazadouro**

Considerou-se que os tanques de decantação primária, decantação secundária, tanque de arejamento e espessamento estariam enterrados até metade da sua altura. Consideraram-se assim esses  $\text{m}^3$  de escavação para cada órgão e 20% adicionais, para implantação. Esses 20% a mais foram depois considerados no mapa de quantidades como aterro. A diferença entre a escavação e aterro foi considerada como vazadouro.

Foram dados valores de referência no mercado para os custos de escavação, aterro e vazadouro por  $\text{m}^3$  movimentado.

#### **4.6.2.2 Betão e aço**

Consideraram-se para os tanques de decantação primária, arejamento e decantação secundária espessuras de betão de 30cm e uma quantidade de aço de  $120\text{kg}/\text{m}^3$  de betão. Considerando que para todas as soluções a altura dos tanques não varia, mas sim a sua área, para estes órgãos, não houve variação destes parâmetros, considerados médios.

Para os espessadores considerou-se uma espessura de betão de 30cm e uma quantidade de aço de  $100\text{kg}/\text{m}^3$  de betão.

Para os digestores, considerou-se espessuras de betão de 40cm e quantidade de aço de  $160\text{kg}/\text{m}^3$  de betão.

Foram dados valores de referência por  $\text{m}^3$  de betão e por kg de aço A400NR.

#### **4.6.2.3 Cofragens**

Em todos os órgãos considerou-se cofragens interiores e exteriores nas paredes, passadiços e fundo. Na cofragem de fundo, só se considerou a camada que não está em contacto com o solo.

Apenas para a digestão anaeróbia a quente foi considerada a cofragem da cobertura.

#### **4.6.2.4 Acabamentos**

Em todos os órgãos foram consideradas pinturas interiores, exteriores enterradas e exteriores não enterradas, com custos distintos por  $\text{m}^2$ .

#### **4.6.2.5 Serralharias**

Em todos os órgãos foram consideradas escadas, gradis e guarda corpos.

Para os tanques de digestão foram contempladas entradas de homem.

#### **4.6.3 Custo de equipamentos**

Para os custos unitários dos equipamentos associados aos diferentes órgãos foram utilizadas curvas de custo para bombas, pontes raspadoras, compressores, gasómetro, flare e motogeradores, variando os seus custos através do caudal, diâmetro ou volume, e valores unitários para difusores, suportes, sondas de medição, analisador de biogás, entre outros, obtidos a partir de mapas de orçamentos de diversas empreitadas efectuadas por empresas de referência do mercado português. Os equipamentos com menor expressão na comparação do custo global dos órgãos, nomeadamente os colectores, as câmaras de visita, os caudalímetros, manómetros, tubagem de ligação e válvulas são considerados como percentagem de custos sobre os custos globais.

#### 4.6.4 Custo de operação

O custo de operação mais relevante é o consumo energético para oxigenação, rotação de pontes e elevação do perfil hidráulico e, no caso de digestão a quente, de aquecimento e homogeneização de lamas.

Para ETAR, a energia é geralmente fornecida em média tensão, com uma longa utilização (mais do que 5.000 horas/ano).

O sistema tarifário em vigor de venda de energia eléctrica a clientes finais é publicado pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). Segundo este despacho a facturação de energia é obtida pelo somatório de três parcelas:

- termo tarifário fixo (48,06 euros/mês);
- encargos de potência
  - ✓ utilização de potência em horas de ponta: 8,983 €/kW.mês;
  - ✓ potência contratada: 1,397 €/kW.mês.
- custo unitário de energia, dependente do período trimestral do ano, da intensidade da utilização da energia e do período horário (neste caso muito continuado), diferente entre o Verão e o Inverno e função do ciclo de contagem contratado (considera-se diário no caso presente, mais consentâneo com o caso presente e mais favorável em termos de segurança de pressupostos).

É conhecido o sistema de contagem bi-horário que se utiliza muito em nossas casas. Porém o dia ainda pode ser mais dividido, provocando custos diferenciados.

Para clientes finais em Média Tensão, com regime de contagem tetra-horário, o tarifário em vigor é o seguinte:

**Tabela 4.9 - Tarifário de distribuição de electricidade em média tensão (ERSE, 2012)**

Energia ativa		(EUR/kWh)
Tarifa de longas utilizações	Períodos I, IV	Horas de ponta
		0,1191
		Horas cheias
		0,0911
	Períodos II, III	Horas de vazio normal
		0,0579
		Horas de super vazio
		0,0541
	Períodos I, IV	Horas de ponta
		0,1229
		Horas cheias
		0,0937
	Períodos II, III	Horas de vazio normal
		0,0602
		Horas de super vazio
		0,0560

Assim, calculando a potência dos equipamentos para as diferentes populações, pode-se obter a estimativa do custo de energia anual e para o horizonte de projecto, permitindo aferir além dos custos iniciais de investimento, os custos de operação.

Por simplificação, considerou-se um custo médio por kWh de vazio e super-vazio. Assim, considerou-se nos períodos I e IV, 0,056€/kWh e para os períodos II e III, 0,058€/kWh.

O custo das horas de ponta e horas cheias utilizado foi o tabelado.

Considera-se igualmente como custo de operação os reagentes necessários, nomeadamente a adição de polímero para ambas as soluções.

#### **4.6.5 Custos de manutenção**

A manutenção das obras provoca um custo continuado durante todo o período de exploração das instalações. Geralmente contabiliza-se como um encargo anual, que se admite proporcional ao investimento.

As operações típicas de manutenção são:

- Na engenharia tradicional considera-se, para manutenção de estações depuradoras, um custo anual de 0,5 a 1% do investimento em construção civil e 2,0 a 2,5% do equipamento electromecânico.

Na pesquisa realizada durante o desenvolvimento da investigação conclui-se ser este valor razoavelmente fundamentado, especialmente em situações de comparação.

- Vida útil média do equipamento: 15 anos (este é um valor médio entre vários tipos de equipamento).

#### **4.6.6 Taxa de actualização**

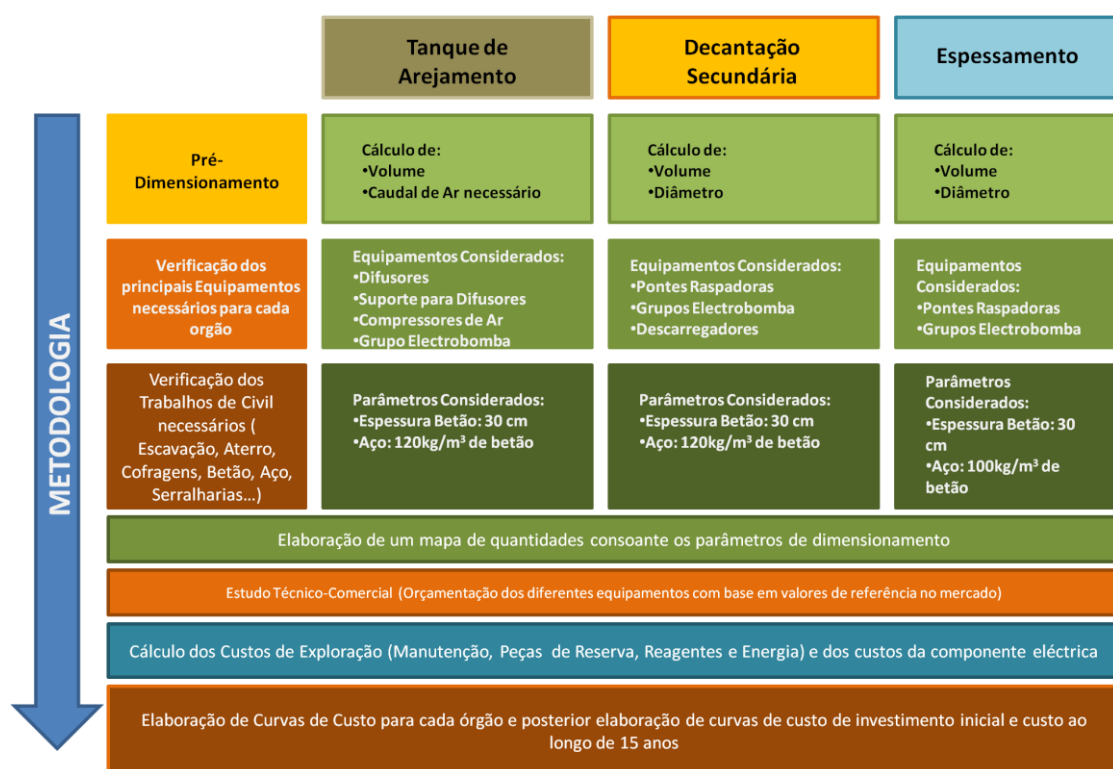
Para a comparação económica utilizar-se-á o VAL (Valor Actualizado Líquido), aplicando uma taxa de actualização adequada, que possui vantagens em relação a métodos alternativos (TIR, PRC) nomeadamente:

- Segundo este método actualizam-se, para o período inicial, todos os fluxos de caixa relevantes (investimentos escalonados, taxas e encargos de exploração contabilizados ano a ano). Assim, de acordo com o que é mais frequentemente realizado, vai admitir-se um cenário a "preços constantes", porque a consideração da taxa de inflação provocaria maiores graus de incerteza na análise.
- Os principais critérios de análise económica a adoptar no VAL serão, assim:
- Taxa de actualização de 3%; a taxa de actualização reflecte o equilíbrio entre o custo do dinheiro quando é necessário para investimento (taxa remuneratória de juro, paga a quem disponibiliza o recurso) e o aumento dos preços (inflação ou, excepcionalmente, deflação); poderia ter-se optado por uma análise de sensibilidade com duas ou três taxas mas, dadas as dificuldades previsionais deste tema, e o carácter simplificado do modelo, preferiu-se utilizar somente a taxa referida;
- Preços constantes;
- Período de análise económica coincidente com período horizonte de projecto, isto é, em termos médios de 15 anos.

### **4.7 Resumo da Metodologia adoptada**

#### **4.7.1 Solução de tratamento em regime de baixa carga**

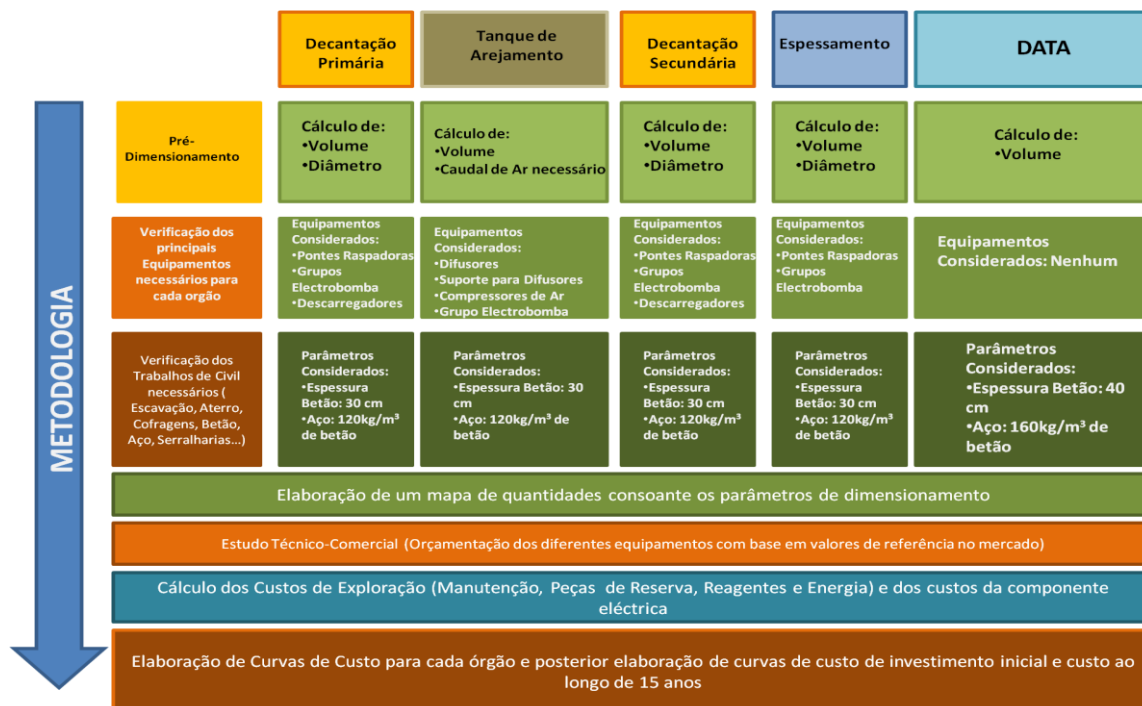
Pode-se observar na Figura 4.2 o resumo da metodologia adoptada para a solução de tratamento em regime de baixa carga.



**Figura 4.2 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de baixa carga**

#### 4.7.2 Solução de tratamento em regime de média carga com DATA

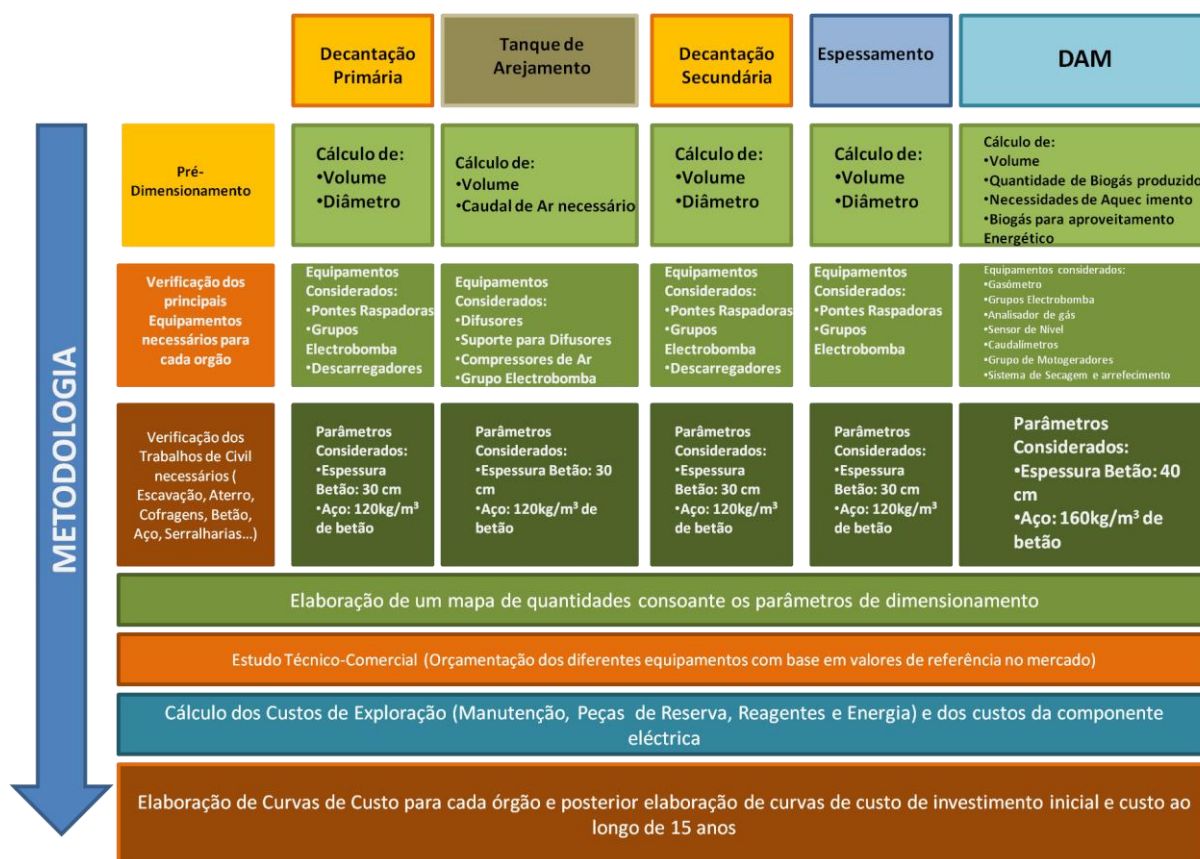
Pode-se observar na Figura 4.3 o resumo da metodologia adoptada para a solução de tratamento em regime de média carga com digestão anaeróbia à temperatura ambiente.



**Figura 4.3 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de média carga com Digestão Anaeróbia à temperatura ambiente**

### 4.7.3 Solução de tratamento em regime de média carga com DAM

Pode-se observar na Figura 4.4 o resumo da metodologia adoptada para a solução de tratamento em regime de média carga com digestão anaeróbia mesofílica.



**Figura 4.4 – Resumo da Metodologia adoptada para o cálculo dos custos da solução de tratamento em regime de média carga com Digestão Anaeróbia mesofílica**





## **5 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE COMPARAÇÃO**

### **5.1 Dimensionamento das estações de tratamento**

Para o desenvolvimento do método de comparação, criou-se uma folha de cálculo baseada em dois balanços de massas distintos, um para o dimensionamento de estações de tratamento em arejamento prolongado e outro para sistemas de arejamento convencional.

#### **5.1.1 Balanço de massas**

Para ambos os modelos de dimensionamento, considerou-se uma captação de 130 l/hab.d de águas residuais, definindo-se os caudais médios afluentes às estações de tratamento, caudais esses variantes necessariamente da população considerada.

Os caudais de ponta foram calculados, assim como os caudais máximos afluentes, considerando-se o caudal de infiltração horário igual ao caudal médio horário.

Considerou-se para ambos os modelos que a eficiência necessária de remoção é de 95% de  $\text{CBO}_5$  e 96% de Sólidos Suspensos Totais. Para a presente modelação, como referido anteriormente, não se considerará para o dimensionamento a remoção de Azoto e Fósforo.

#### **5.1.2 Tratamento primário**

Para o sistema de arejamento convencional, dimensionou-se um ou mais decantadores, dependendo da população, definindo-se remoção de  $\text{CBO}_5$  e SST de 25% e 60% respectivamente, calculando-se assim as cargas removidas destes parâmetros e as cargas afluentes ao tanque de arejamento, permitindo igualmente aferir o caudal de lamas produzido diariamente nesta fase do processo. Definiu-se assim uma altura para os decantadores de 4 metros e uma carga hidráulica de  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ , e, considerando o caudal de ponta afluente à ETAR, definiu-se uma área e um volume para os decantadores.

#### **5.1.3 Tratamento secundário**

##### **5.1.3.1 Tanque de arejamento de lamas activadas**

Para o dimensionamento do(s) tanque(s) de lamas activadas dos dois diferentes sistemas em comparação, definiram-se diferentes critérios. No sistema de arejamento prolongado considerou-se um rácio de quantidade de lamas formadas por quantidade de CBO removido de 0,75 e no sistema de arejamento convencional o rácio de 0,9, ou seja, considerou-se que nos tanques de arejamento convencional existe uma maior quantidade de lamas formadas por quantidade de  $\text{CBO}_5$  removido. Assim, existe menor produção de lamas em excesso para as mesmas condições.

Considerando os critérios de F/M e MVS definidos para os dois sistemas e carga de  $\text{CBO}_5$  afluente ao tanque (carga efluente do decantador primário para sistema de arejamento convencional e carga afluente à ETAR no sistema de arejamento prolongado), calculou-se o volume deste(s) órgão(s). Definindo uma altura de 5 metros para estes reactores, calculou-se a área de implementação. Depois, definiu-se a quantidade necessária de Oxigénio, a potência de arejamento real considerando uma eficiência de rendimento dos compressores de ar de 80% e o número de arejadores, dependendo do caudal afluente ao tanque.

### **5.1.3.2 Decantador secundário**

Dimensionou-se a decantação secundária tendo, para ambos os sistemas, o mesmo princípio. A diferença consiste na carga hidráulica considerada. Para o sistema em arejamento prolongado considerou-se uma carga hidráulica de  $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  e para o convencional uma carga hidráulica de  $22\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , calculando-se assim a área superficial necessária a partir da divisão do caudal máximo afluente diário pela carga hidráulica.

### **5.1.3.3 Espessador gravítico**

Para o dimensionamento do(s) espessador(es) gravítico(s) dos diferentes sistemas considerou-se como principal diferença a carga de sólidos afluentes a este equipamento. Para o sistema em arejamento prolongado considerou-se uma carga de sólidos de  $22\text{ Kg}/\text{m}^2.\text{d}$  e para o sistema em arejamento convencional considerou-se  $55\text{ Kg}/\text{m}^2.\text{d}$ .

### **5.1.3.4 Digestão a baixa carga**

Havendo necessidade de estabilização de lamas na solução em arejamento convencional, quando a produção de biogás não é suficiente para compensar o investimento inicial e de consumo energético de uma solução de digestão anaeróbia aquecida, dimensionou-se um uma solução de digestão em baixa carga (à temperatura ambiente) para se proceder à digestão de lamas provenientes do espessamento.

Considerando um tempo de retenção médio de 50 dias e uma altura de 10m, calculou-se o volume necessário.

O dimensionamento deste tanque não foi considerado para o arejamento prolongado.

### **5.1.3.5 Digestão anaeróbia aquecida**

No dimensionamento desta fase de processo não se consideram os dois sistemas em comparação, mas apenas o sistema de tratamento de lamas activadas em regime de média carga, visto considerar-se que as lamas provenientes do tratamento em arejamento prolongado são estabilizadas no tanque de arejamento.

Para o dimensionamento deste órgão multiplicou-se o tempo de retenção pelo caudal de afluência de lamas espessadas, obtendo o Volume do Digestor através deste critério. Para verificação, calculou-se o volume do digestor através do critério dos sólidos voláteis, considerando que estes são 80% dos sólidos suspensos totais presentes nas lamas. Assim, dividiu-se a quantidade de sólidos voláteis pela carga de sólidos obtendo o volume do digestor para este critério. Considerou-se ainda um critério populacional, multiplicando a população pelo volume necessário por pessoa/dia de digestor, considerado como  $0,04\text{m}^3/\text{hab.d}$ .

A produção de biogás foi calculada igualmente através de diferentes critérios. Considerou-se que para cada quilograma de sólidos voláteis (80% dos sólidos suspensos totais),  $0,75\text{m}^3$  de biogás é formado por dia. Considerou-se ainda, como critério de dimensionamento paralelo, que cada pessoa abrangida pela ETAR contribui com a produção de  $0,03\text{ m}^3$  de biogás/dia.

Para calcular as necessidades de aquecimento do digestor multiplicou-se o caudal afluente pelo calor específico das lamas ( $4.000\text{ J}/\text{kg}.\text{°C}$ ) e pelo diferencial de temperatura entre a digestão e o espessamento.

Calculou-se igualmente as perdas de calor, considerando este valor em cerca de 25% das necessidades de aquecimento.

Assim, obteve-se a necessidade de aquecimento real e o número de unidades de aquecimento necessárias.

Após o cálculo das necessidades de aquecimento, calculou-se a energia necessária fazer face a estas necessidades.

Essa energia é comprada à rede (tarifa de compra de média tensão) por um preço inferior à venda (considerado no presente trabalho como sendo de 0,12€/kW). Assim, considerando que 1m<sup>3</sup> de biogás produz 6,5 kW (PIRES, 2009) e como o rendimento do motorizador é de cerca de 35%, e considerando que 1m<sup>3</sup> de biogás produz 2,5kW, verifica-se qual o proveito final.

## **5.2 Desenvolvimento das curvas de custo**

### **5.2.1 Custos de construção em função das geometrias globais obtidas em processos de pré-dimensionamento**

Para obter curvas de custo para os diferentes órgãos verificaram-se mapas de quantidades e de custos de propostas de estações de tratamento diversas, incluindo para cada órgão os custos de escavação e aterro, estruturas, pinturas e equipamento. Construiu-se assim uma lista de quantidades para órgãos do mesmo tipo com dimensões diferentes e obteve-se assim as curvas de custo variáveis com o volume do órgão através de uma regressão.

De notar que o presente modelo de custos, sendo um modelo de comparação, foi efectuado para uma gama de populações entre os 5.000 e os 50.000 habitantes (considerada a gama crítica) não sendo aplicado para gamas populacionais mais elevadas. Segundo o INSAAR (2009), existem 3.855 ETAR com populações equivalentes inferiores a 50.000hab (93% das ETAR em Portugal). No entanto, apenas 185 ETAR estão dentro da gama em estudo.

#### **5.2.1.1 Tratamento primário**

O custo do tratamento primário apenas é contabilizado para o arejamento convencional.

Para se obter as curvas de custo do tratamento primário, ou seja, dos decantadores primários, considerando que para o caso de estudo estes são circulares, verificaram-se mapas de quantidades e preço para órgãos com esta forma, obtendo-se os valores para escavação, vazadouro, aterro, estruturas de betão e aço, cofragens, acabamentos e serralharias. Multiplicando estes valores por preços unitários/(m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, kg, metro linear ou unidade), obteve-se assim o custo de construção para uma população definida.

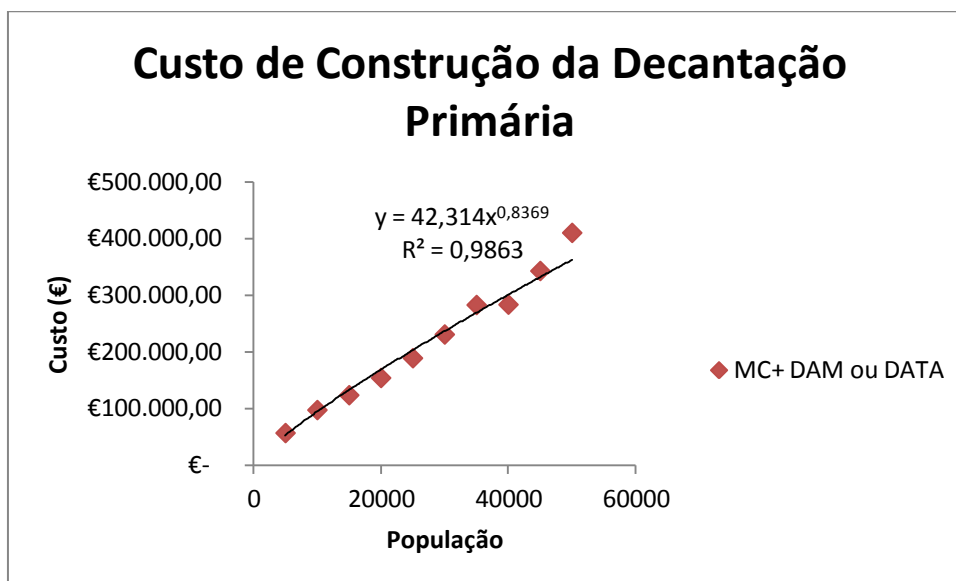
Considerou-se valores médios de espessura de betão (30cm) e quantidade de aço (120kg/m<sup>3</sup>). Para soluções em que seja necessária uma maior espessura do betão ou maior quantidade de aço o modelo não se aplica, visto estes componentes serem de enorme expressividade no custo final de construção.

Para os acabamentos interiores e exteriores e serralharias, considerou-se que os órgãos têm 2 metros de altura não enterrada.

Assim, através de uma regressão dos valores calculados, obteve-se a seguinte curva de custo:

$$C_{CC \text{ Decantação Primária}} = 42,314x^{0,8369}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.1 - Curva de Custo da Construção Civil da Decantação Primária**

Os valores obtidos para 35.000 e 40.000 são muito semelhantes visto o diâmetro calculado do decantador ser arredondado à unidade e, para estas populações, o diâmetro dos decantadores serem iguais. Tendo em conta que se trata de um custo de construção, e tendo em conta que na orçamentação se consideraram custos unitários por m<sup>3</sup>, ml, un, m<sup>2</sup>

De notar que para populações superiores a 1.000 habitantes considerou-se a implantação de 2 decantadores. Para populações superiores a 30.000 habitantes, considerou-se 3 decantadores.

### 5.2.1.2 Tanque de arejamento de lamas activadas

Para os tanques de arejamento, no desenvolvimento das curvas de custo, teve-se em conta igualmente o movimento de terras, as estruturas, os acabamentos, serralharias.

Considerou-se a mesma espessura de betão e quantidade de aço que na decantação primária. Para soluções em que seja necessária uma maior espessura do betão ou maior quantidade de aço o modelo não se aplica.

Para os acabamentos interiores e exteriores e serralharias, considerou-se que os tanques estão enterrados até metade da altura.

De notar que a quantidade de tanques varia com a população.

Obteve-se as seguintes curvas de custo para os tanques de arejamento:

#### Arejamento Prolongado

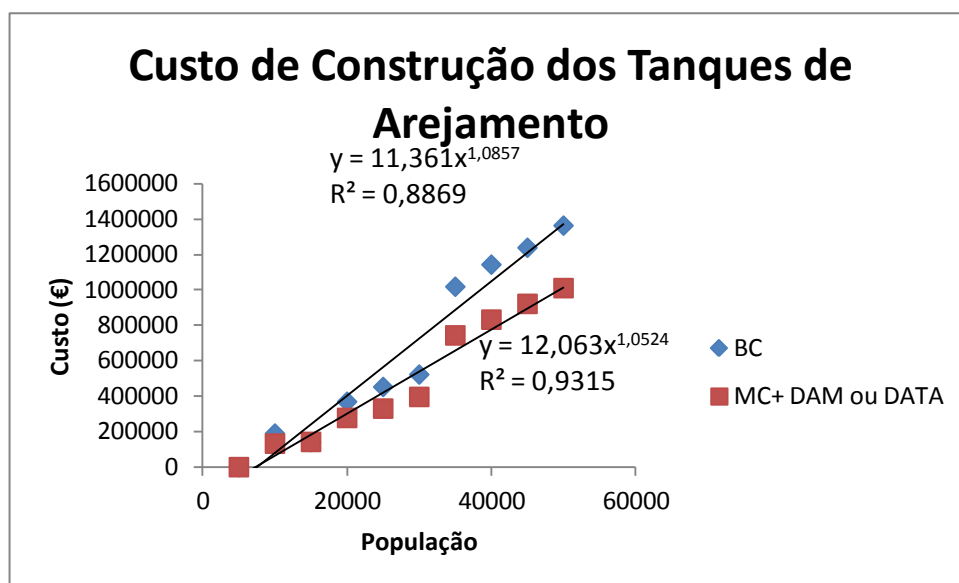
$$C_{CC \text{ Tanque Arejamento}} = 11,361x^{1,0857}$$

onde x – população de dimensionamento

#### Arejamento Convencional

$$C_{CC \text{ Tanque Arejamento}} = 12,063x^{1,0524}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.2 - Curva de Custo de Construção Civil dos Tanques de Arejamento**

A curva de custo de construção para ambos os reactores leva a crer que o princípio de economia de escala não se aplica. Tal facto deve-se ao aumento do número de tanques aos 30.000 habitantes, havendo necessidade de mais área de cofragem, mais serralharias, betão e aço. No entanto, através da visualização da figura 5.2, pode-se verificar que para populações entre 5.000 e 25.000 e populações superiores a 35.000 habitantes, existe uma tendência de economia de escala que não é inteiramente demonstrada devido ao aumento, como anteriormente referido, do número de tanques.

### 5.2.1.3 Decantador secundário

Para o cálculo da curva de custo de decantadores secundários procedeu-se da mesma forma que no tratamento primário para os decantadores primários.

Tendo em conta que se considerou em termos práticos, o mesmo caudal de recirculação, obtém-se valores de construção destes órgãos bastante semelhantes para ambos os sistemas.

#### Arejamento Prolongado

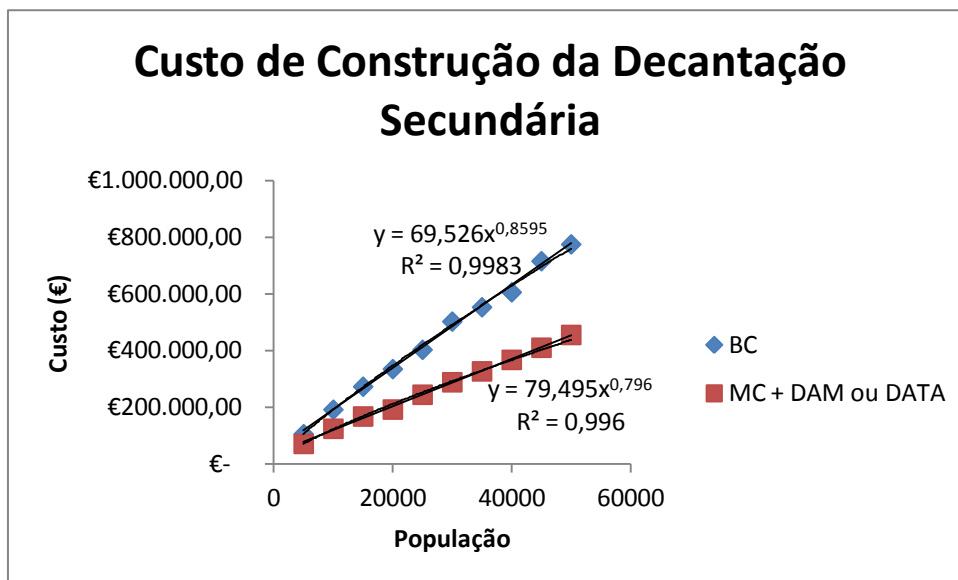
$$C_{CC \text{ Decantação Secundária}} = 69,526x^{0,8595}$$

onde x – população de dimensionamento

#### Arejamento Convencional

$$C_{CC \text{ Decantação Secundária}} = 79,495x^{0,796}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.3 - Curva de Custo de Construção Civil da Decantação Secundária**

O facto das curvas de custo proporcionarem o aumento do custo à medida que se consideram superiores populações deve-se à consideração do aumento do número de tanques aos 30.000 habitantes equivalente e ao cálculo ter sido efectuado com custos unitários médios dos componentes de construção para 1 m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, ml ou un., não variáveis consoante a quantidade a utilizar. Tal deve-se ao facto de não ser âmbito do presente trabalho a comparação dos valores construtivos de cada componente mas sim ter uma ideia generalizada dos custos totais comparativos de cada sistema de tratamento.

#### 5.2.1.4 Espessador gravítico

Para obter a função de custo dos espessadores gravíticos, procedeu-se da mesma forma que nos decantadores com a excepção da quantidade de aço considerada, que neste caso foi de 100kg aço A400NR /m<sup>3</sup> de betão.

##### Arejamento Prolongado

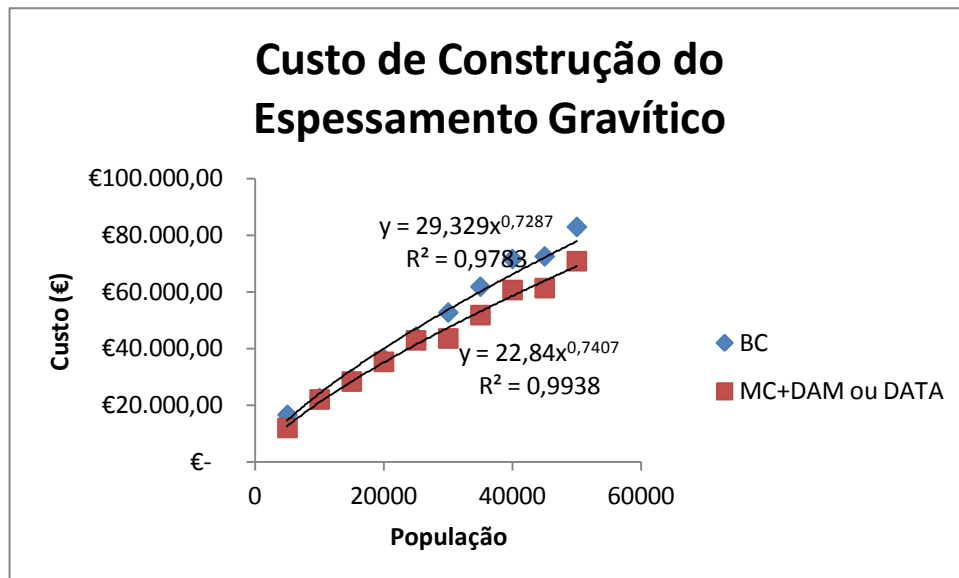
$$C_{CC} \text{ Espessador Gravítico} = 29,379x^{0,7284}$$

onde x – população de dimensionamento

##### Arejamento Convencional

$$C_{CC} \text{ Espessador Gravítico} = 22,86x^{0,7406}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.4 - Curva de Custo de Construção Civil do Espessamento Gravítico**

Os custos de construção do espessamento gravítico são mais baixos em média carga visto, apesar de se produzir mais lamas neste tipo de sistemas, a carga de sólidos (kg SST/m<sup>2</sup>.d) considerada ser superior, tornando assim a área necessária para espessar a lama inferior, reduzindo os custos de construção.

#### 5.2.1.5 Digestão anaeróbia à temperatura ambiente

Para o cálculo do custo do tanque de DATA considerou-se uma espessura de betão de 40 cm e uma armação em aço A400NR de 160kg/ m<sup>3</sup> de betão. Este aumento explica-se, essencialmente, pela elevada altura do órgão.

De notar que a partir de 30.000 habitantes se consideram 2 digestores a frio.

##### Arejamento Convencional

$$C_{CC} \text{ Digestor a Temperatura Ambiente} = 303,36x^{0,6221}$$

onde x – população de dimensionamento

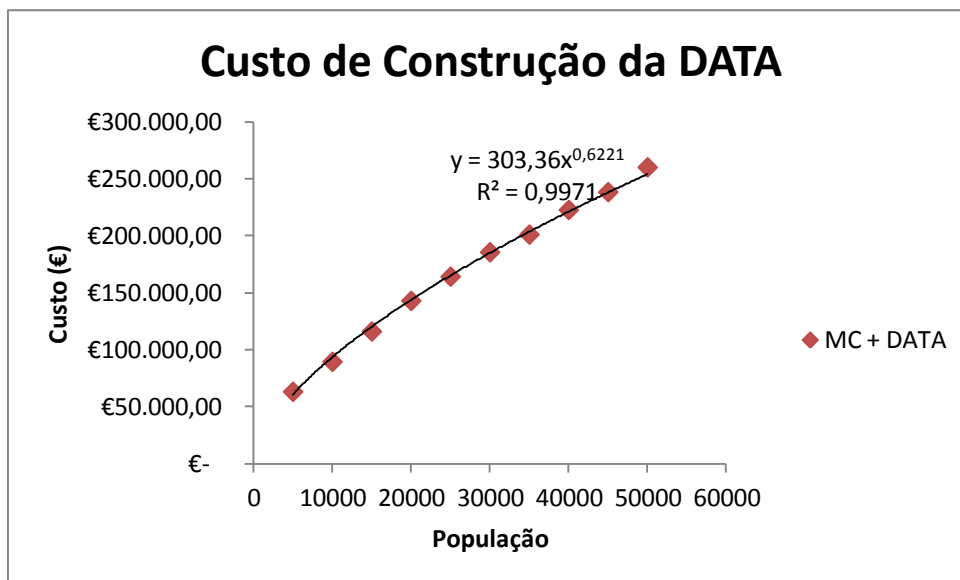


Figura 5.5 - Curva de Custo de Construção Civil da Digestão a temperatura ambiente

#### 5.2.1.6 Digestão anaeróbia mesofílica

Para obter a função de custo da digestão, considerou-se todos os custos de construção tais como o isolamento, betão, aço, cofragem e acabamentos.

À semelhança do digestor a frio, na digestão a quente também se considerou uma espessura de betão de 40 cm e uma armação em aço A400NR de 160kg/ m<sup>3</sup> de betão.

Assim, obteve-se a seguinte curva de custo de construção:

Arejamento Convencional

$$C_{CC \text{ Digestor mesofílico}} = 763,41x^{0,562}$$

onde x – população de dimensionamento

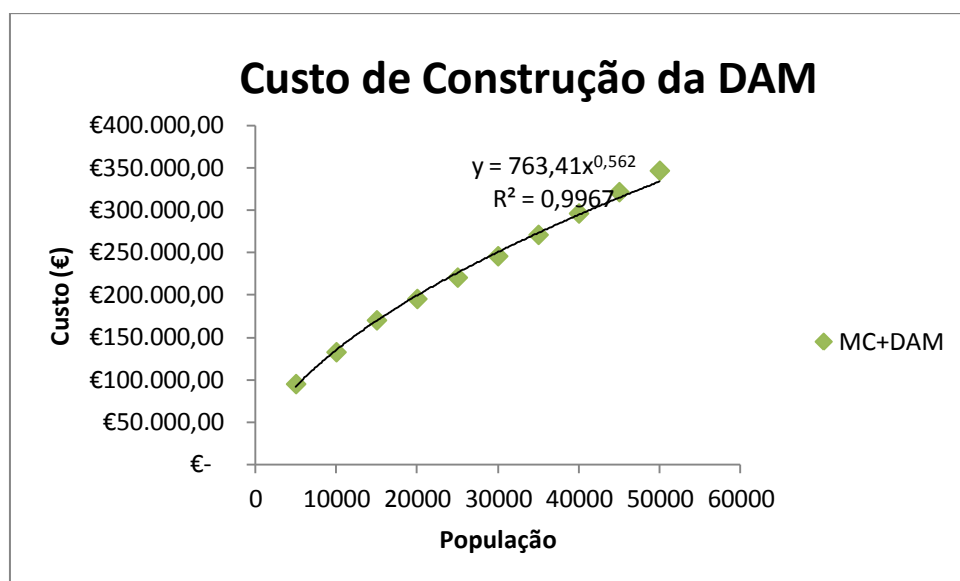


Figura 5.6 - Curva de Custo de Construção Civil da Digestão Anaeróbia Mesofílica



### 5.2.1.7 Edifício de cogeração

A previsão do custo do edifício de cogeração foi calculada como sendo uma percentagem do equipamento de cogeração. Obteve-se assim a seguinte curva de custos:

Arejamento Convencional

$$C_{CC \text{ Ed. Cogeração}} = 53400x^{0,0712}$$

onde x – população de dimensionamento

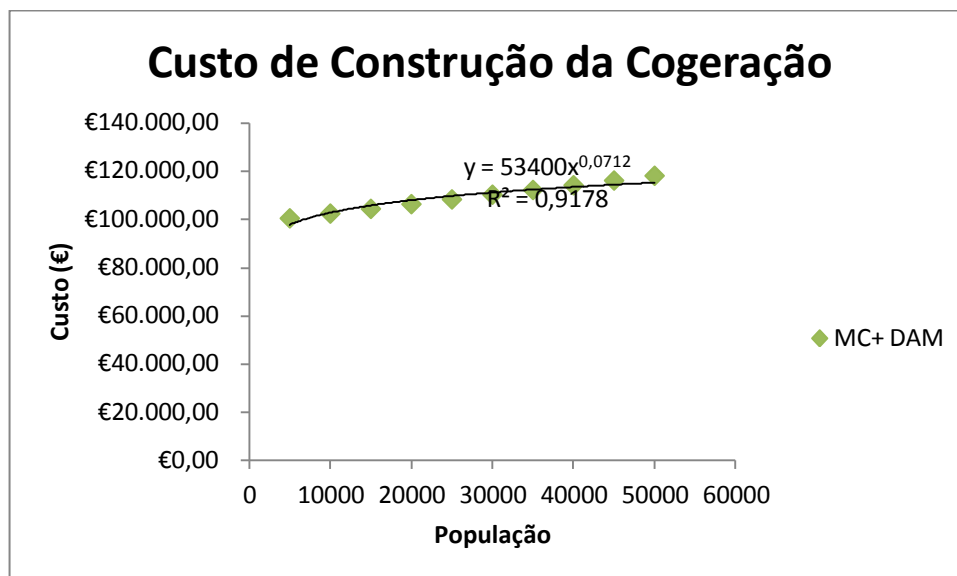


Figura 5.7 - Curva de Custo de Construção Civil do Edifício de Cogeração

Pode-se através da observação da curva de custo concluir que o facto de se considerar que o espaço necessário para a cogeração é praticamente igual, independentemente da quantidade de efluente a tratar e de gás produzido. A nível de cálculo de custos e da respectiva curva, tendo em conta que a modelação é teórica e baseada em relações de valores reais, obteve-se não uma recta com expoente igual a zero (custo constante) mas sim uma curva com um expoente reduzido, partindo-se do princípio que o custo é de cerca de 15% do custo do equipamento de cogeração.

## 5.2.2 Estimativa de custos de equipamentos

Para se obter as curvas de custo dos equipamentos dos diferentes órgãos, efectua-se para os valores obtidos uma regressão potencial. Isto deve-se ao facto dos preços dos equipamentos sofrerem uma grande influência da economia de escala e deste tipo de regressão apresentar uma curva com maior correlação com os valores obtidos.

### 5.2.2.1 Tratamento primário

Para se obter as curvas de custo de equipamento do tratamento primário, ou seja, dos decantadores primários, considerando que para o caso de estudo estes são circulares, verificaram-se mapas de quantidades e preço para equipamentos tais como pontes raspadoras, descarregadores e grupos electrobomba. Correlacionando os valores obtidos, aplicou-se ao modelo de previsão de custo equações com variável dependente no diâmetro para pontes raspadoras e descarregadores e equações com variável dependente no caudal para grupos electrobomba.

Para os grupos electrobomba calculou-se o custo inicial e multiplicou-se pelo número de órgãos + 1, sendo o custo adicional referente a um grupo electrobomba de reserva.

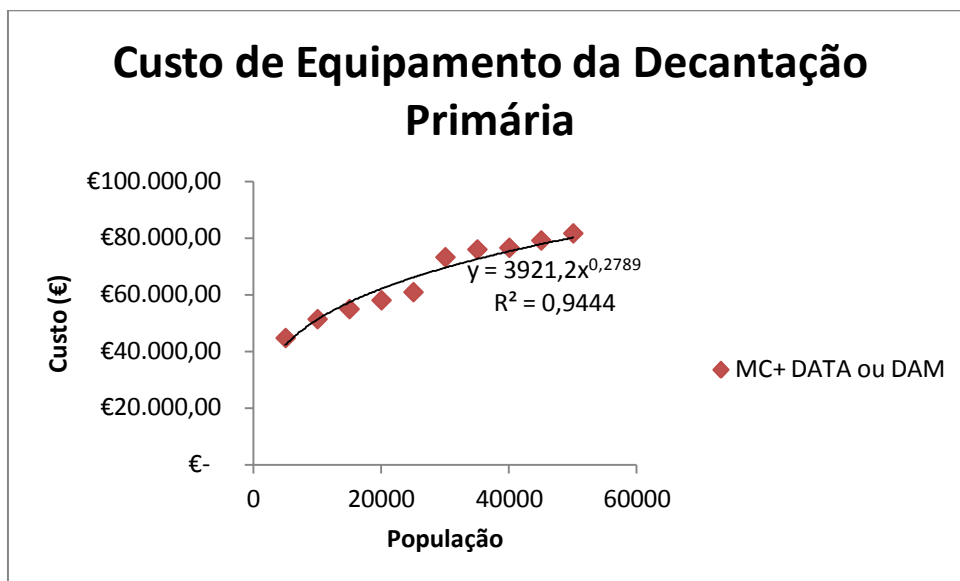
Para as pontes raspadoras e descarregadores, calculou-se o seu custo correlacionado pelo arredondando por excesso do diâmetro à unidade.

Obteve-se assim a seguinte curva de custo para a decantação primária:

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ decantação primária}} = 3921,2x^{0,2789}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.8 - Curva de Custo do Equipamento da Decantação Primária**

### 5.2.2.2 Tanque de arejamento

Considerou-se para o cálculo do custo de equipamentos dos tanques de arejamento o custo dos difusores, grupos electrobomba e compressores de ar, variando o seu custo consoante a sua quantidade, caudal de bombagem e potência respectivamente.

Foi considerado no custo grupos electrobomba de reserva.

O custo do grupo electrobomba de recirculação não foi equacionado devido à sua semelhança para ambos os sistemas.

Arejamento Prolongado:

$$C_{eq \text{ Tanque de Arejamento}} = 441,09x^{0,5579}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ Tanque de Arejamento}} = 1275,2x^{0,4363}$$

onde x – população de dimensionamento

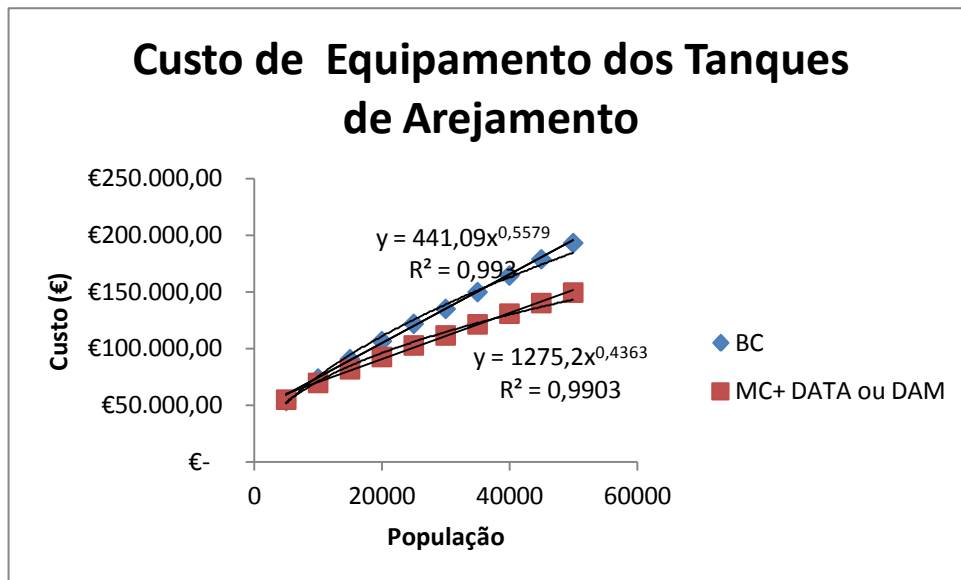


Figura 5.9 - Curva de Custo do Equipamento dos Tanques de Arejamento

### 5.2.2.3 Decantação secundária

Arejamento Prolongado:

$$C_{eq \text{ Decantação Secundária}} = 5290,5x^{0,3188}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ Decantação Secundária}} = 4544,2x^{0,2917}$$

onde x – população de dimensionamento

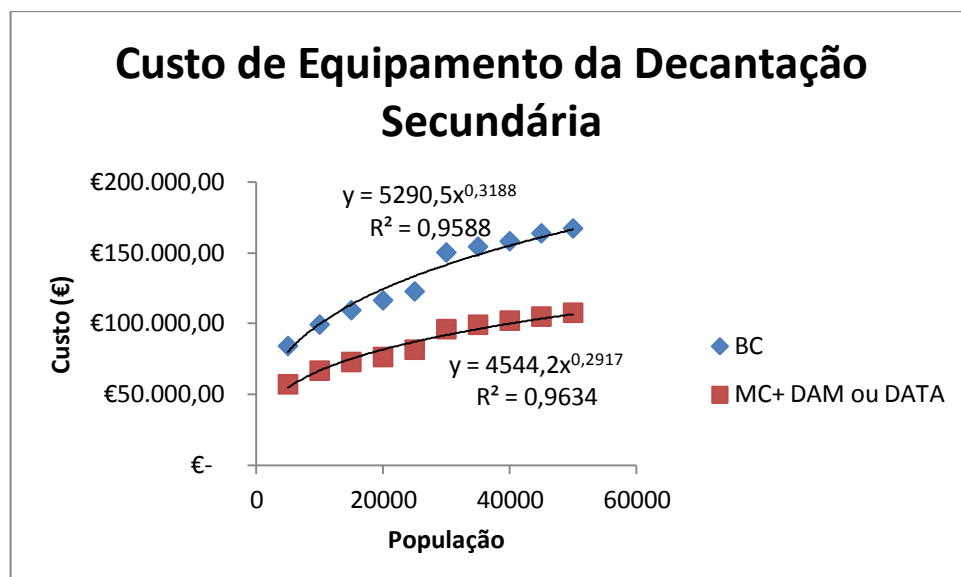


Figura 5.10 - Curva de Custo da Decantação Secundária

O custo de equipamento da decantação tende a não variar muito com a população. Tal situação deve-se ao facto do custo das pontes raspadoras encontradas em mapas de preços variarem pouco com o diâmetro. O notório aumento de custo para populações superiores a 30.000 habitantes deve-se à consideração do aumento do número de tanques.

#### 5.2.2.4 Espessamento gravítico

Considerou-se, para o cálculo dos custos do espessamento gravítico, a ponte raspadora e grupos electrobomba.

Assim obteve-se as seguintes cruvas de custos:

Arejamento Prolongado:

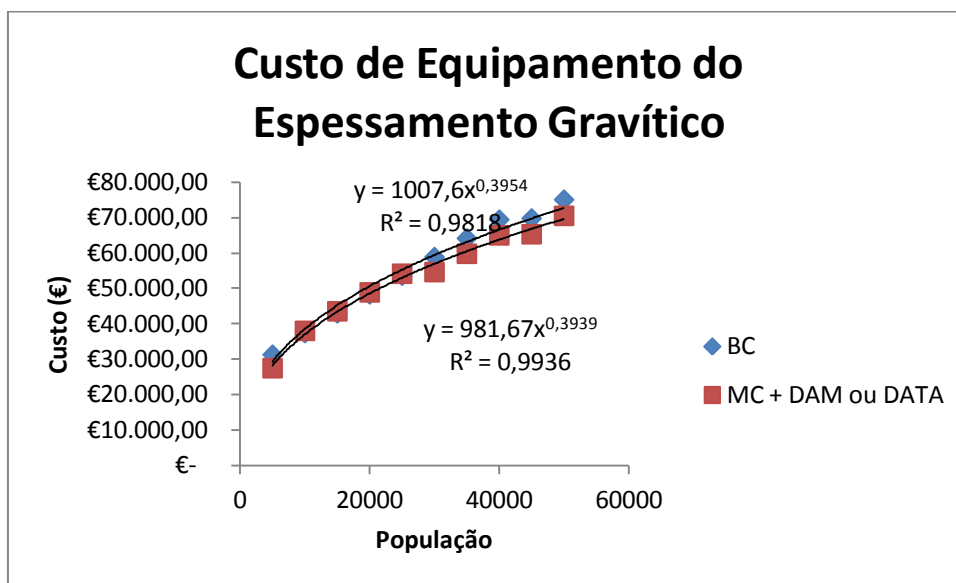
$$C_{eq \text{ Tanque de Arejamento}} = 1007,6x^{0,3954}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ Tanque de Arejamento}} = 981,67x^{0,3939}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.11 - Curva de Custo do Equipamento do Espessamento Gravítico**

Como para sistemas em baixa carga o espessador é ligeiramente superior devido à carga de sólidos (kg SST/m<sup>2</sup>.dia), e considerando-se que em baixa carga há menor produção de lamas que em média carga, obtém-se custos de equipamento semelhantes para ambas as soluções.

#### 5.2.2.5 Digestão a temperatura ambiente

Não se calculou o custo dos equipamentos associados à digestão (grupo electrobomba de escorrências, alimentação e extracção de lamas) pois o seu valor não é significativo em relação ao custo de construção da central e foi englobado em forma de percentagem.

#### 5.2.2.6 Digestão mesofílica

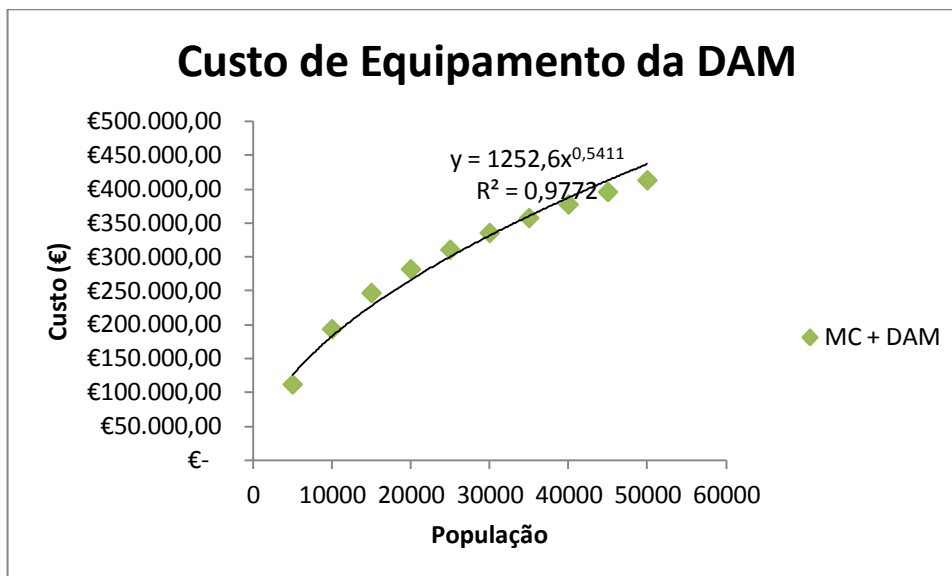
Os equipamentos associados à digestão mesofílica, tais como bombas de recirculação, compressores de mistura de biogás, bombas de alimentação, bombas de descarga de lamas, permutadores de calor, gasómetro, queimador, scrubber de secagem de biogás, analisador, sensores de nível, caudalímetros e tubagem foram calculados com base em diversos valores conhecidos.

Não se considerou qualquer tipo de sistema de adição de cloreto férrico ou hidróxido de sódio ou outro qualquer processo de dessulfurização, visto partir-se do princípio que o H<sub>2</sub>S se mantém em valores admissíveis aos motogeradores (<500ppm).

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ Digestão a quente}} = 1252,6x^{0,5411}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.12 - Curva de Custo do Equipamento da Digestão Anaeróbia mesofílica**

Torna-se óbvio, ao observar a figura 6.12, que o custo associado a este tipo de equipamentos sofre grande influência da economia de escala.

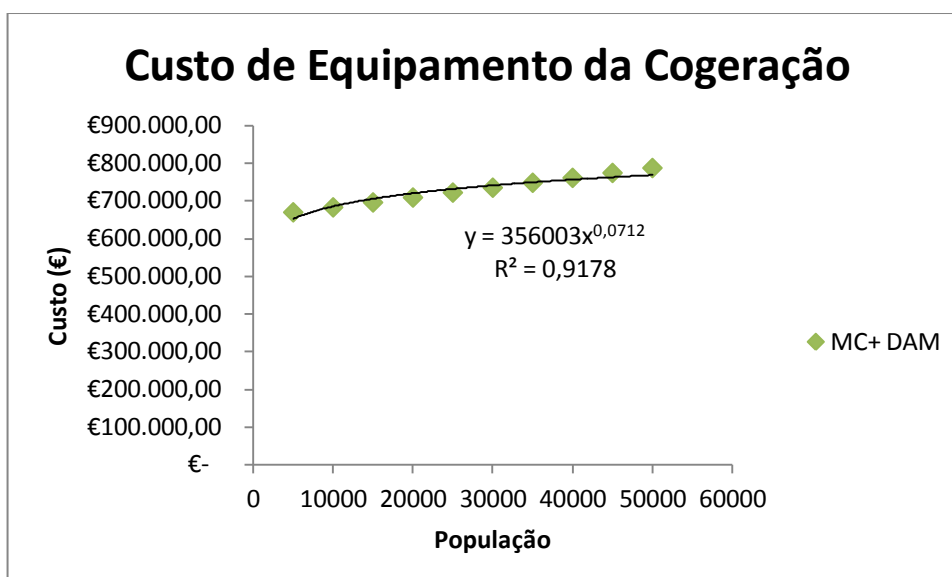
### 5.2.2.7 Cogeração

Para o cálculo do custo de equipamento da cogeração considerou-se valores de ventilação do edifício de cogeração, grupo de cogeração, sistema de arrefecimento (circuito de alta temperatura, baixa temperatura, bomba, radiador) e sistema de lubrificação.

Arejamento Convencional:

$$C_{eq \text{ Cogeração}} = 356003x^{0,0712}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.13 - Curva de Custo do Equipamento da Cogeração**

A grande representatividade dos custos de sistemas de cogeração em relação aos custos de investimento inicial é evidente. No entanto, o custo pouco varia para as populações estudadas.

Obviamente que para poucos habitantes não faz sentido falar destes custos de cogeração ou de DAM, pois a produção de biogás não é suficiente para suportar estes custos durante o período de vida útil das estações.

### 5.3 Custo de investimento total

Para o cálculo das curvas de investimento total considerou-se o custo de construção e equipamento dos elementos em comparação. Assim, obteve-se as seguintes curvas:

Arejamento Prolongado:

$$C_{\text{investimento inicial}} = 505,6x^{0,8001}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional:

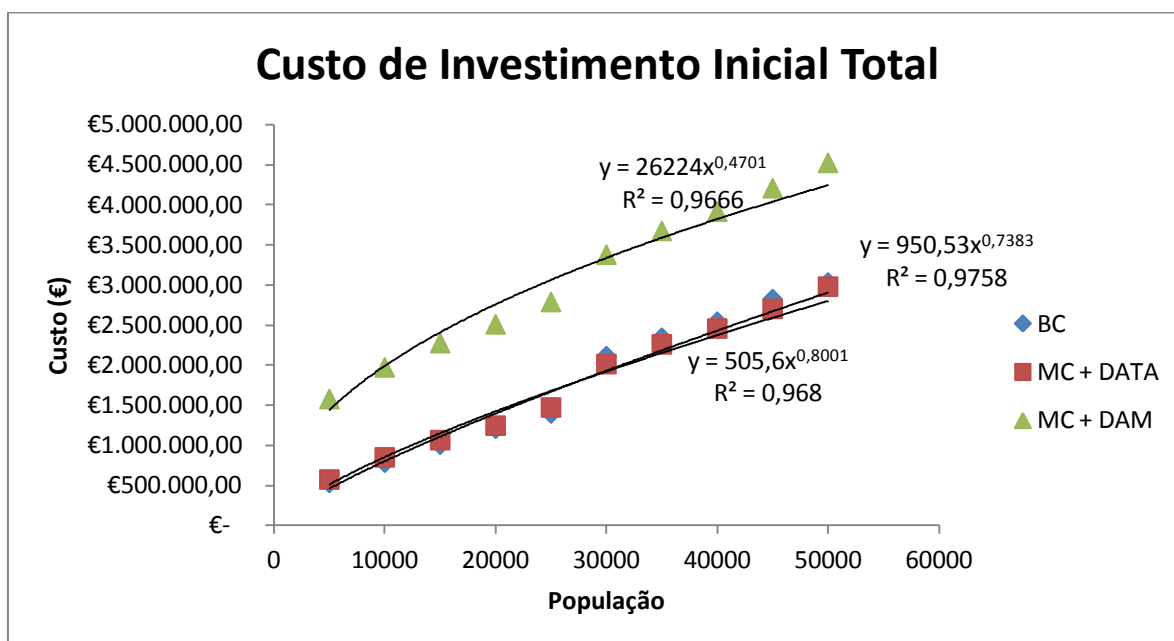
$$C_{\text{investimento inicial}} = 950,53x^{0,7383}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional + Digestão a quente e cogeração:

$$C_{\text{investimento inicial}} = 26224x^{0,4701}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.14 - Curva de Custo do Investimento Inicial total**

Ao observar as curvas de custo verifica-se que para sistemas em baixa carga, o custo de investimento inicial é mais baixo, seguido dos sistemas em média carga com DATA. O sistema de tratamento de média carga com DAM torna-se a solução mais dispendiosa do ponto de vista do investimento inicial.

## 5.4 Desenvolvimento de custos de exploração

### 5.4.1 Custos de energia

Para obter a equação de cálculo do consumo energético durante 15 anos procedeu-se à listagem dos consumíveis de cada solução (compressores, agitadores, pontes raspadoras, estações de bombagem, prensas de desidratação, permutadores, motores, e extrapolou-se a sua potência. Sabendo o número de horas de funcionamento e o período (ponta, cheia ou vazio), obteve-se o custo por dia de energia. Sabendo que as prensas só trabalham 250 dias por ano e que os restantes equipamentos estão em constante funcionamento, calculou-se o custo anual de energia.

Utilizando um VAL de 3% para o aumento do custo energético anual, obteve-se as seguintes equações de custo para as 3 diferentes soluções:

Arejamento Prolongado:

$$C_{\text{energia}} = 104,82x^{0,9309}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional + Digestão Anaeróbia a Temperatura Ambiente:

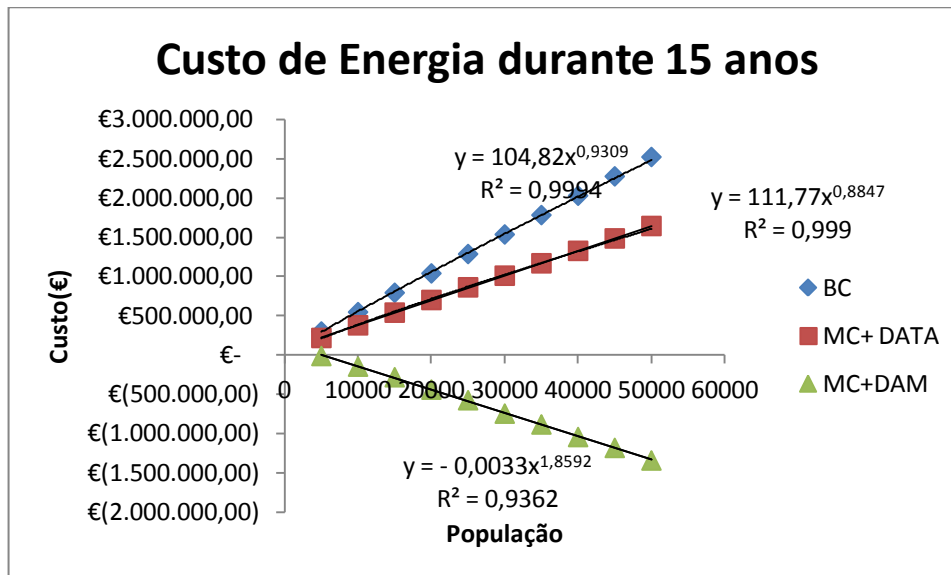
$$C_{\text{energia}} = 111,77x^{0,8847}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional + Digestão Anaeróbia Mesofílica e Cogeração:

$$C_{\text{energia}} = -0,0033x^{1,8592}$$

onde x – população de dimensionamento



**Figura 5.15 - Curva de Custo do consumo energético durante 15 anos**

Os custos energéticos que no gráfico aparecerem como negativos para sistemas em média carga com digestão anaeróbia mesofílica significam que não existe um custo mas sim um proveito da venda da energia eléctrica produzida nos motogeradores. Esta energia eléctrica considerada como proveito é a diferença entre a energia produzida e a energia gasta em toda a estação, ao longo de 15 anos.

## 5.4.2 Outros custos

### 5.4.2.1 Manutenção

Na estimativa do custo da manutenção no horizonte de projecto considerou-se como antes referido, uma percentagem do custo de construção civil e equipamento electromecânico. Assim, o custo de manutenção considerou 1% do custo total da construção civil e 2% do custo total dos equipamentos electromecânicos.

### 5.4.2.2 Peças de reserva

Para calcular a estimativa do custo das peças de reserva, considerou-se que ao longo dos 15 anos (HP) cerca de metade do custo total inicial do equipamento será necessário para peças de substituição.

Assim, considerou-se o custo de peças de reserva como sendo 3% do custo de investimento inicial em equipamento por ano.

### 5.4.2.3 Custo equipamentos eléctricos

Para estimar os custos da parte eléctrica, após verificação da proporção destes custos em diversas empreitadas construídas ou em construção de empresas de referência no mercado português, calculou-se este valor como sendo cerca de 10% do total do custo de construção e equipamento.

Estes custos englobam passagem de cabos, quadros e grupo gerador de emergência.

## 5.5 Custos totais a 15 anos

As equações de custo total calculadas são a soma dos custos de construção, equipamento, energia, manutenção, peças de reserva e equipamentos eléctricos para o período de horizonte de projecto (tempo médio de vida útil dos equipamentos).

Assim, obtém-se as seguintes curvas:

Arejamento Prolongado:

$$C_{\text{total 15 anos}} = 660,95x^{0,8413}$$

onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional:

$$C_{\text{total 15 anos}} = 1124,9x^{0,7839}$$

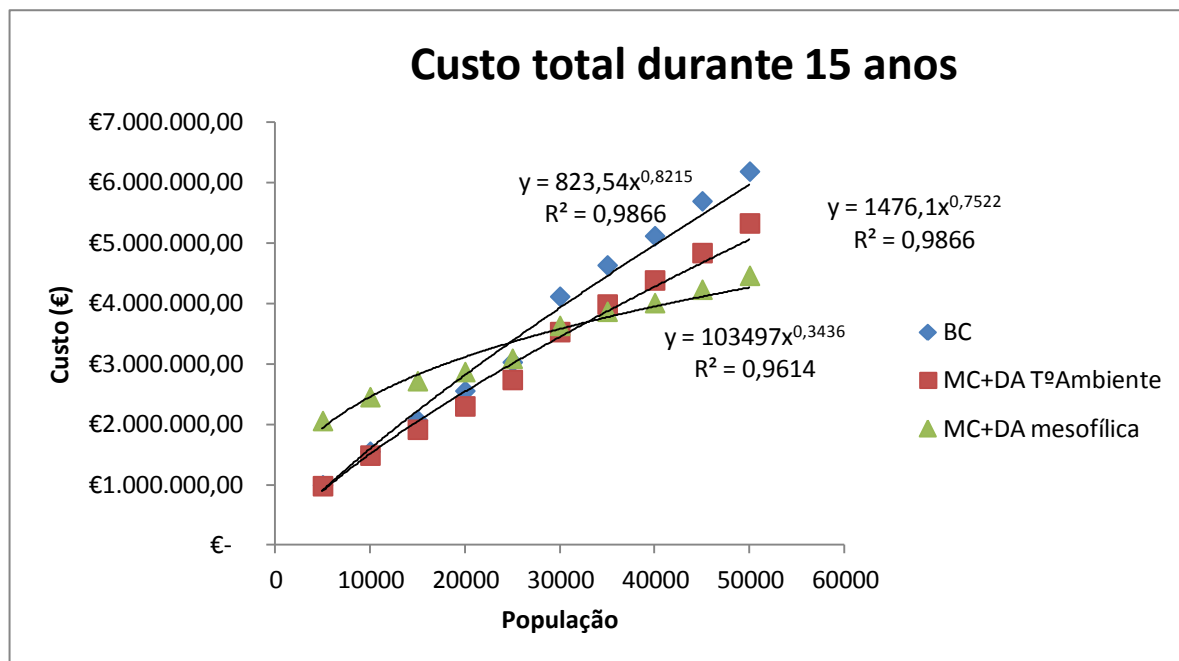
onde x – população de dimensionamento

Arejamento Convencional + Digestão Anaeróbia Mesofílica e Cogeração:

$$C_{\text{total 15 anos}} = 72667x^{0,3835}$$

onde x – população de dimensionamento



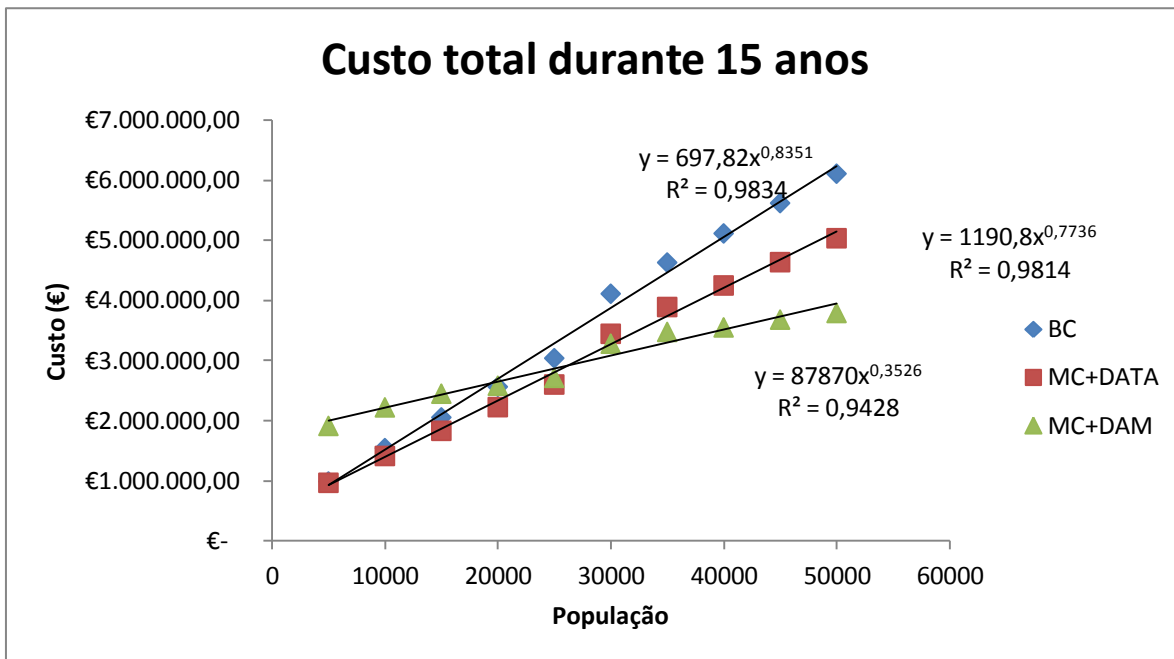


**Figura 5.16 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento**

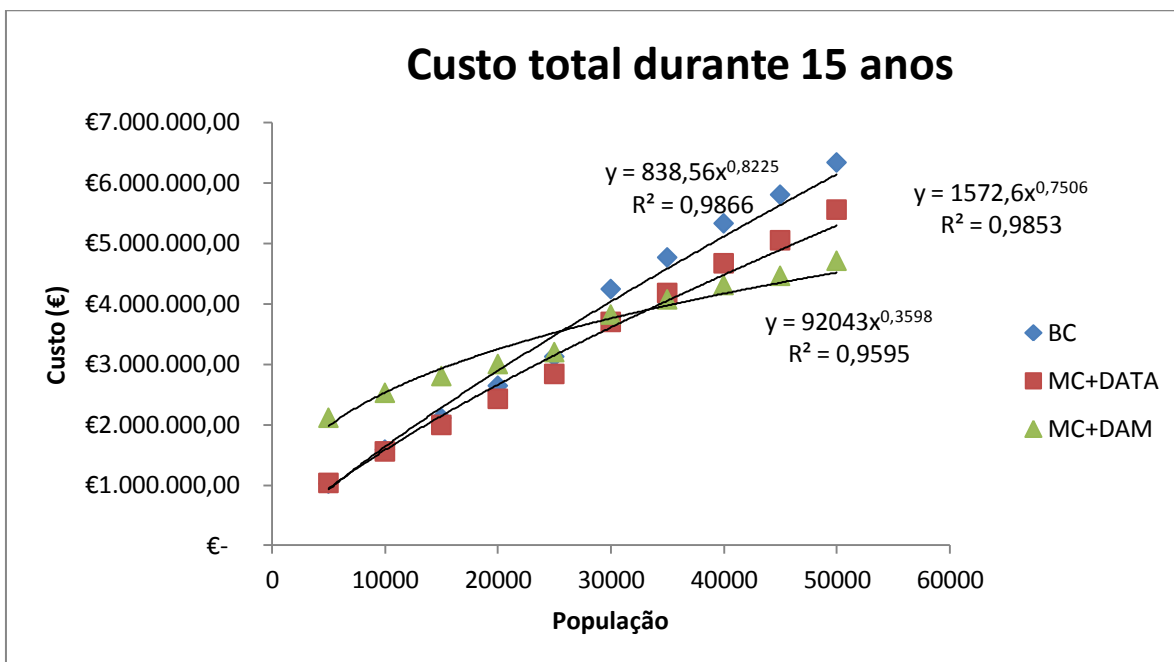
De notar que para o cálculo destes custos totais não se consideraram, visto tratar-se de uma comparação entre sistemas, diversos equipamentos e edifícios de construção semelhantes a todas as empreitadas, descritos com maior rigor no capítulo 4.3 do presente trabalho.

## 5.6 Análise de sensibilidade do modelo

Para verificar se o modelo se aplica para captações de águas residuais diferentes de 130 l/hab.dia, calculou-se o custo total para captações diferentes, nomeadamente de 100l/hab.dia e 160l/hab.d, captações essas que englobam as captações médias de águas residuais de Portugal. Os resultados obtidos foram os seguintes:



**Figura 5.17 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento para captação de 100l/hab.d**



**Figura 5.18 - Custo total durante o horizonte de projecto em função da população de dimensionamento para captação de 160l/hab.d**

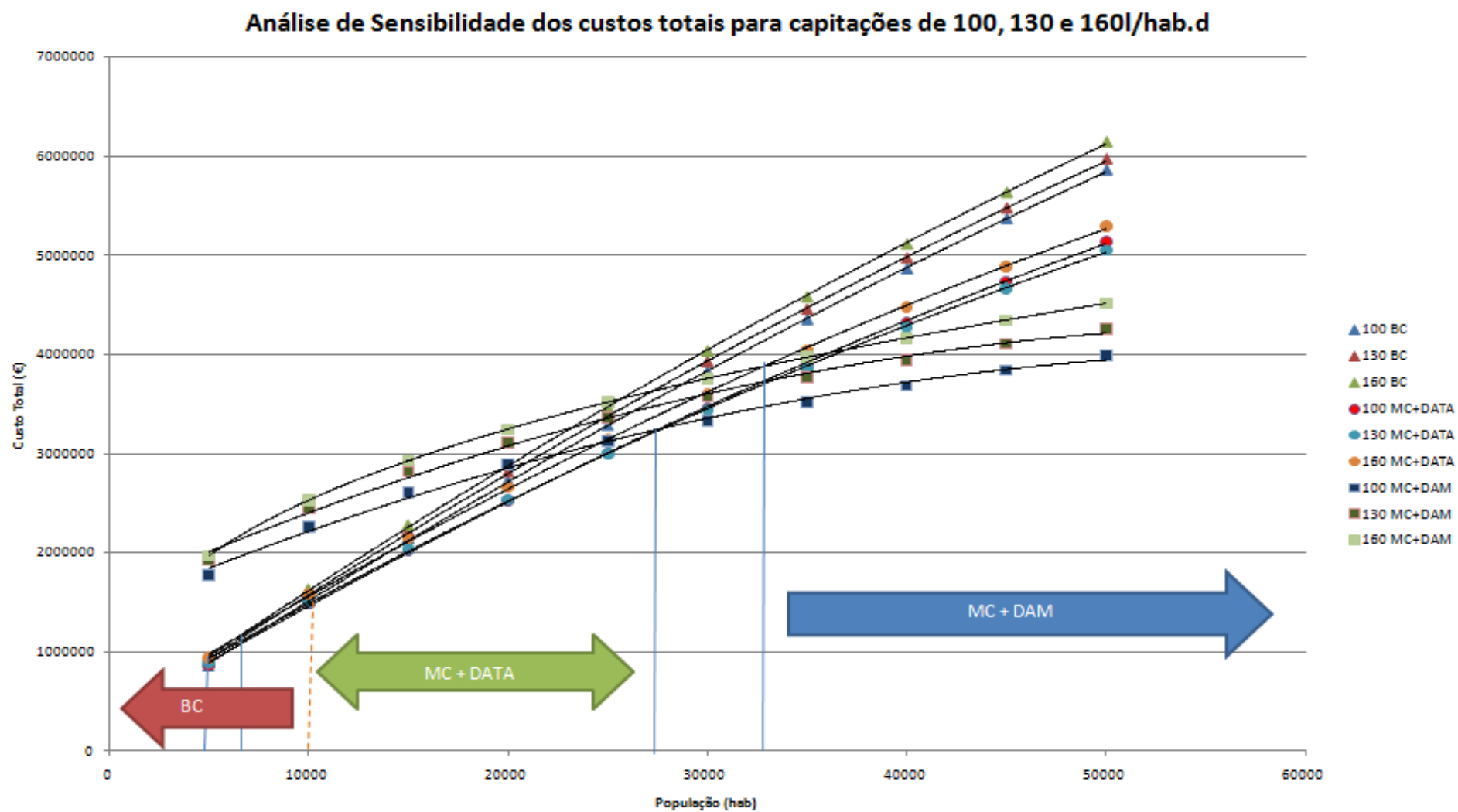


Figura 5.19 – Resumo da Análise de Sensibilidade dos custos totais para captações de 100, 130 e 160 l/hab.d

Assim, pode-se inferir que média carga com digestão à temperatura ambiente pode acarretar vantagens económicas em comparação com sistemas em baixa carga, para horizontes de projecto de 15 anos, a partir de cerca de 5.000 habitantes para capitações de 130 l/hab.d de águas residuais. No entanto, e tendo em conta que o modelo, sendo teórico, apresenta erros associados, considera-se que a partir de 10.000 habitantes passa realmente a ser vantajoso o sistema em média carga com digestão à temperatura ambiente. Esta conclusão tem também como base a maior eficiência do processo de baixa carga e o seu menor número de etapas e equipamentos associados, que a nível de operação se torna vantajoso.

O sistema de média carga com digestão mesofílica passa a ser vantajosa em termos económicos num horizonte de projecto de 15 anos a partir de cerca de 33.500 habitantes. De notar que é um sistema muito complexo e que pode acarretar elevados custos quando existem problemas de operação, custos esses que não foram considerados neste trabalho.

Conclui-se ainda que para capitações mais baixas, a concentração de CBO é obviamente superior. Assim, a necessidade de arejamento e volume do tanque biológico será superior do que para situações em que a capitação é inferior. Para capitações mais elevadas passa-se necessariamente o inverso. Isto permite concluir que para populações pequenas este tipo de variações na concentração de poluente tem grande expressividade nos custos do tanque de arejamento, sendo que estes custos, à medida que a população cresce, são menos representativos, visto o aumento do caudal aumentar os custos de outros órgãos tais como o decantador primário, espessador ou digestores.

## 6 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos permitem aferir que a solução em arejamento prolongado, desde populações relativamente pequenas (igualando as curvas de custo total a 15 anos de arejamento prolongado e arejamento convencional para 130l/hab.d, a população equivalente ronda os 5.000 habitantes) apresenta maiores custos de investimento e de exploração.

No entanto, tendo em conta que o presente estudo é uma estimativa com erros associados, pode-se apenas afirmar com segurança que, o arejamento convencional começa a compensar a partir de 10.000 hab.eq.. Esta aferição, além de contabilizar os erros associados à modelação teórica, tem em conta o facto da solução em arejamento prolongado, permitir uma maior eficiência de remoção de poluentes, reduzir a produção de lamas, e evitar processos de estabilização de lamas - por vezes complexos e dispendiosos -, permitindo, por estas razões, uma solução globalmente mais vantajosa, em caso de dúvida.

Apesar de os custos de investimento inicial serem mais baixos para o arejamento prolongado, para horizontes de projecto de 15 anos (vida útil dos equipamentos), os custos variáveis são bastante superiores. Isto deve-se essencialmente a uma maior necessidade energética para o arejamento dos tanques biológicos, os quais, para este tipo de sistemas, são de maior volume. Assim, pode-se dizer que erros de cálculo ou decisões menos adequadas, poderão, a médio prazo, custar milhões de euros às entidades gestoras, pelo que, qualquer decisão neste contexto tem de ser tomada com o maior discernimento.

Para populações mais elevadas, o arejamento convencional com aproveitamento energético passa a ser a melhor solução, nomeadamente para populações superiores a 33.500 habitantes. Para esta, dimensão de populações, o valor do proveito decorrente do aproveitamento do biogás gerado na digestão, para a produção de energia eléctrica, ultrapassa o valor do elevado investimento inicial na digestão a quente, acrescido dos seus também muito elevados consumos energéticos associados. Diferentes captações não alteram significativamente este valor, visto não aumentarem os órgãos com maior expressividade nos custos.



## 7 SÍNTESE E CONCLUSÕES

O objectivo do presente trabalho consistiu em realizar uma análise comparativa entre sistemas de tratamento de águas residuais equivalentes a domésticas, por lamas activadas em baixa carga e em média carga, esta com duas subopções: (i) com estabilização de lamas à temperatura ambiente e (ii) mesofílica.

A análise partiu da avaliação dos custos relativos, tanto a nível do investimento inicial das componentes que interessavam diferenciar na comparação, como ao nível dos custos totais diferenciáveis a 15 anos (considerado o horizonte de projecto), abrangendo neste caso, não só os custos de construção e de equipamento detalhado por órgão, como os custos energéticos e os de manutenção, com inclusão de peças de reserva.

Uma solução justificada não pode deixar de considerar outros factores particulares, além dos médios, aqui considerados. Porém, este estudo pretende não só servir de pré-filtro para as decisões, com alertar para a necessidade de estudos comparativos que salvaguardem o interesse público tanto financeiro como ambiental.

Conclui-se que, para populações equivalentes servidas superiores a cerca de 10.000 habitantes, a solução em baixa carga pode deixar de ser a melhor opção, a nível de custos totais de construção e exploração.

Para populações acima dos 33.500 habitantes (valor, obviamente, muito flexível face aos pressupostos do modelo), a solução em média carga com digestão anaeróbia aquecida (35°C), torna-se vantajosa economicamente, em detrimento de sistemas em média carga com digestão anaeróbia à temperatura ambiente.

De notar que as curvas de custo calculadas no presente trabalho apenas se aplicam para o intervalo de populações estipulado.





## **8 PROSSEGUIMENTO DA INVESTIGAÇÃO**

O presente trabalho é um fio condutor que visa a comparação de três sistemas muito específicos, com pressupostos baseados em valores médios.

No futuro seria ainda interessante não só comparar este tipo de sistemas para horizontes de projecto superiores, como também situações mais abrangentes, como por exemplo custos de leitos percoladores vs lamas activadas, ou situações mais específicas tais como a comparação de custos de sistemas de arejamento de tanques biológicos ou comparação entre sistemas de digestão anaeróbia mesofílica e termofílica. O aumento das variáveis sujeitas a análise de sensibilidade seria também desejável.

Outros sectores cujos custos de exploração têm grande peso decisor, tais como Estações de Tratamento de Águas, redes de abastecimento e drenagem podem também ser alvo de estudo mais aprofundado.



## 9 BIBLIOGRAFIA

### 9.1 Livros e publicações

- AMARAL, L. (2009), Folhas de apoio às aulas de Técnicas de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais. FCT/UNL.
- Comissão das Comunidades Europeias (2001), Towards a European strategy for the security of energy supply, Bruxelas
- CASTRO, Rui M.G. (2004), Condições Técnicas da Ligação da Produção Descentralizada Renovável.
- ECKENFELDER, W. Wesley (1992), Activated Sludge Treatment – Industrial Wastewater, Taylor & Francis
- INSAAR (2010), Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Águas e Águas Residuais.
- Melo, L.F. (1996), Tratamento Biológico de Água e Efluentes Líquidos: Biomassa Fixa *versus* Biomassa em Suspensão
- MONTE, M. (2010), Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais, Lisboa.
- NOVOTNY, V., & IMHOFF, K. (1989). Karl Imhoff's Handbook of Urban Drainage and WasteWater Disposal. John Wiley & Sons, Inc.
- PAIVA, José Pedro Sucena (2005), Redes de energia eléctrica uma análise sistémica, IST Press
- PEREIRA, David (2010), Custos de Estações de Tratamento de Águas Residuais em Função da Capacidade e da eficiência no planeamento da qualidade da água.
- PIRES, Ana (2009), Contribuição para o Estudo de Avaliação do Desempenho de Um sistema de estabilização anaeróbia e utilização do gás produzido, FCT/UNL.
- SOARES, Isabel, et al. (2007), Decisões de Investimento - Análise Financeira de projectos. Lisboa: Silabo.
- SPELLMAN, F. R. (2003). Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. Lewis Publishers.
- U.S. Environmental Protection Agency (1974), "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.
- QASIM, S. R. (1999), Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation, CRS PRESS.
- VESILIND, P. Arne (2003), Wastewater Treatment Plant Design, IWA Publishing.
- VIEIRA, Paula, QUADROS, Sílvia; PIMENTEL, Flávio; ROSA, Maria; ALEGRE, Helena (2006), Estações de Tratamento de Águas e de Águas Residuais : Caracterização da Situação Nacional.

### 9.2 Legislação

Decreto - Lei n.º 152/97 de 19 de Junho

### 9.3 Endereços electrónicos

Instituto da Água, <http://www.inag.pt> ;

INSAAR, <http://insaar.inag.pt>

Measuring Worth, <http://www.measuringworth.com/uscompare/>,

EDP, <http://www.edp.pt>,



# ANEXOS



# **ANEXO I**

## **PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ÓRGÃOS**

## ANEXO I –PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ÓRGÃOS

No presente anexo descreve-se os cálculos de pré-dimensionamento efectuados. Para cada órgão dimensionado apresenta-se um exemplo de cálculo para uma população equivalente definida e tabela resumo de todos os valores de dimensionamento para as populações equivalentes estudadas.

### I.I Decantação Primária

Considerando uma carga hidráulica de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ , calculou-se a área útil do decantador, através da seguinte fórmula:

$$A_{\text{útil}} = \frac{Q_{\text{ponta}}}{Ch}$$

Multiplicando a área útil pela altura estipulada (4m), obteve-se o volume útil do decantador.

O diâmetro foi obtido através da área.

**Ex: 5.000 habitantes e 130 l/hab.d**

$$Q_{\text{ponta}} = 26,37 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (visto considerar-se 2 decantadores em paralelo)}$$

$$Ch = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$$

$$A_{\text{útil}} = 21,1 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{21,1 \times 4}{\pi}}$$

$$D = 6 \text{ m (arredondado às unidades)}$$

**Tabela I – Valores calculados no pré-dimensionamento da Decantação Primária para as populações equivalentes estudadas em regime de Média Carga.**

Decantação Primária	Média Carga					
População	Nº Órgãos	Ch (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d))	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Diâmetro (m)
5000	2	30	4	0,53	21,10	6
10000	2	30	4	0,75	37,73	8
15000	2	30	4	0,79	53,54	9
20000	2	30	4	0,88	69,16	10
25000	2	30	4	0,97	84,44	11
30000	3	30	4	0,88	66,36	10
35000	3	30	4	0,97	76,35	11
40000	3	30	4	0,97	86,26	11
45000	3	30	4	1,06	96,12	12
50000	3	30	4	1,15	105,92	13

### I.II Tanque de Arejamento

#### **Sistemas de tratamento em regime de baixa carga**

Para o cálculo do tanque de arejamento, considerou-se para sistemas em baixa carga os seguintes pressupostos:

Eficiência de remoção de CBO – 95%

SV –  $4 \text{ kg}/\text{m}^3$

F/M –  $0,08 \text{ mg}/\text{l}$

$$V = \frac{\text{Remoção de CBO (kg CBO/d)}}{F/M \times SV}$$

Considerando uma altura útil de 5 m, obteve-se a área de cada tanque.



A transferência de oxigénio (Kg O<sub>2</sub>/kg CBO à entrada) considerada foi de 2,5, valor considerado para obter a necessidade de oxigénio. Considerando uma eficiência de 80%, obteve-se a necessidade de oxigénio a debitar pelos compressores.

Obteve-se assim o caudal de ar necessário. Considerando que cada arejador debita 6,5m<sup>3</sup>/h de ar, obteve-se o número de arejadores.

Para o cálculo do volume real (considera-se que o tanque tem 1m de bordo livre), multiplicou-se simplesmente a altura (6m) pela área.

**Ex: 10.000 habitantes e 130l/hab.d**

*CBO à entrada* = 339,5 kg CBO/d por cada tanque

*CBO à saída* = 17 kg CBO/d por cada tanque

*CBO removido* = 322 kg CBO/d por cada tanque

$$V_{\text{útil}} = \frac{322}{0,08 \times 4} = 1007,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Necessidade de oxigénio} = \frac{339,5 \times 2,5}{24 \text{ horas}} = 35,36 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Necessidade de oxigénio real} = \frac{35,36}{0,8} = 44,2 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$Q_{\text{ar necessário}} = \frac{44,2}{(1,201 \times 0,232 \times 0,088)} = 1802 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de arejadores} = 1802 / 6,5 = 278 \text{ arejadores (arredondado por excesso à unidade)}$$

$$\text{Volume total} = 6 \times 201,53 = 1209,2 \text{ m}^3$$

**Sistemas de tratamento em regime de média carga**

Para o cálculo do tanque de arejamento, considerou-se para sistemas em média carga os seguintes pressupostos:

Eficiência de remoção de CBO – 93%

SV – 2,1 kg/m<sup>3</sup>

F/M – 0,3 mg/l

$$V = \frac{\text{Remoção de CBO (kg CBO/d)}}{F/M \times SV}$$

Considerando uma altura útil de 5 m, obteve-se a área de cada tanque.

A transferência de oxigénio (Kg O<sub>2</sub>/kg CBO à entrada) considerada foi de 2, valor considerado para obter a necessidade de oxigénio. Considerando uma eficiência de 80%, obteve-se a necessidade de oxigénio a debitar pelos compressores.

Obteve-se assim o caudal de ar necessário. Considerando que cada arejador debita 6,5m<sup>3</sup>/h de ar, obteve-se o número de arejadores.

Para o cálculo do volume real (considera-se que o tanque tem 1m de bordo livre), multiplicou-se simplesmente a altura (6m) pela área.

**Ex: 10.000 habitantes e 130l/hab.d**

*CBO à entrada* = 260,8 kg CBO/d por cada tanque

*CBO à saída* = 17,2 kg CBO/d por cada tanque

*CBO removido* = 243,5 kg CBO/d por cada tanque

$$V_{\text{útil}} = \frac{243,5}{0,08 \times 4} = 386,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Necessidade de oxigénio} = \frac{260,8 \times 2,5}{24 \text{ horas}} = 21,73 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\text{Necessidade de oxigênio real} = \frac{21,73}{0,8} = 27,16 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$Q \text{ ar necessário} = \frac{27,16}{(1,201 \times 0,232 \times 0,088)} = 1108 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de arejadores} = 1108 / 6,5 = 171 \text{ arejadores (arredondado por excesso à unidade)}$$

$$\text{Volume total} = 6 \times 201,53 = 463,8 \text{ m}^3$$

### **Resumo do Dimensionamento dos Tanques de Arejamento**

De seguida, apresenta-se a tabela resumo dos valores de pré-dimensionamento dos tanques de arejamento para ambas as soluções:

**Tabela II – Valores calculados no pré-dimensionamento dos Tanques de arejamento para as populações equivalentes estudadas em regime de Baixa e Média Carga.**

Tanque de Arejamento	Baixa Carga				Média Carga		
População	Nº Órgãos	Remoção de CBO kg CBO/d	Nº de Arejadores	Volume Total m³	Remoção de CBO kg CBO/d	Nº de Arejadores	Volume Total m³
5000	2	161,2	139	604,6	121,8	86,0	231,9
10000	2	322,4	277	1209,2	243,5	171,0	463,8
15000	2	483,7	416	1813,7	365,3	257,0	685,8
20000	2	644,9	555	2418,3	487,0	342,0	927,7
25000	2	806,1	693	3022,9	608,8	427,0	1159,6
30000	3	644,9	555	2418,3	487,0	342,0	927,7
35000	3	752,4	647	2821,4	568,2	399,0	1082,3
40000	3	859,9	740	3224,4	649,4	455,0	1236,9
45000	3	967,3	832	3627,5	730,5	512,0	1391,5
50000	3	1074,8	925	4030,6	811,7	569,0	1546,1

### **I.III Decantação Secundária**

#### **Sistema de tratamento em regime de baixa carga**

Os pressupostos para sistemas em baixa carga foram os seguintes:

$$Ch = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

$$Q_{\text{recirculação}} = 100\% \text{ do caudal médio}$$

Então calculou-se a área da seguinte forma:

$$\text{Área Útil} = \frac{Q_{md} + Q_{\text{recirculação}}}{Ch}$$

A partir da área, calculou-se o diâmetro do decantador. O volume foi calculado multiplicando a área do cilindro (altura estipulada de 4m) e a altura do cone (altura estipulada de 0,5m).

**Ex: 15.000 hab e 130 l/hab.d**

$$Q_{md} = 1005 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (visto considerar-se 2 decantadores em paralelo)}$$

$$Q_{\text{recirculação}} = 1005 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Ch = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

$$A_{\text{útil}} = 167,5 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{167,5 \times 4}{\pi}}$$

$$D = 15 \text{ m (arredondado às unidades)}$$

$$V_{\text{total}} = A_{\text{útil}} \times \text{Altura do cilindro} + (A_{\text{útil}} \times \text{Altura do cone})/3 = 697 \text{ m}^3 \text{ por decantador}$$

#### **Sistemas de tratamento em regime de média carga**

O dimensionamento em sistemas de média carga é semelhante ao de baixa carga. No entanto, a carga hidráulica utilizada é diferente ( $22 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ), obtendo-se assim áreas e consequentes volumes e diâmetros mais baixos.

## Resumo do dimensionamento da Decantação Secundária

**Tabela III – Valores calculados no pré-dimensionamento dos Decantadores Secundários para as populações equivalentes estudadas em regime de Baixa e Média Carga.**

Decantação Secundária	Baixa Carga					Média Carga			
População	Nº Órgãos	Ch (m3/(m2.d))	Área (m2)	Volume (m2)	Diâmetro (m)	Ch (m3/(m2.d))	Área (m2)	Volume (m2)	Diâmetro (m)
5000	2	12	55,8	232,5	8	22	30,6	127,6	7
10000	2	12	111,6	465,0	12	22	61,3	255,3	10
15000	2	12	167,4	697,6	15	22	91,9	382,9	12
20000	2	12	223,2	930,1	17	22	122,5	510,5	13
25000	2	12	279,0	1162,6	19	22	153,2	638,2	15
30000	3	12	223,2	930,1	17	22	122,5	510,5	13
35000	3	12	260,4	1085,1	18	22	143,0	595,6	14
40000	3	12	297,6	1240,1	19	22	163,4	680,7	15
45000	3	12	334,8	1395,1	21	22	183,8	765,8	16
50000	3	12	372,0	1550,2	22	22	204,2	850,9	17

### **I.IV      Espessador Gravítico**

#### **Sistemas de tratamento em regime de baixa carga**

Para sistemas em baixa carga considerou-se uma carga de sólidos de 22 kg SST/m<sup>2</sup>.d.

Assim, conseguiu-se obter a área de espessamento necessária através do seguinte cálculo:

$$A_{\text{útil}} = \frac{\text{Quantidade de lamas afluentes ao espessamento}}{\text{Carga de Sólidos}}$$

Obteve-se depois, através da área, o diâmetro.

Considerando uma altura de 4m previamente estipulada, obteve-se o volume do órgão.

**Ex: 20.000 habitantes e 130l/hab.d**

Quantidade de lamas afluentes ao espessamento = 967 kg SST / d

$$A_{\text{útil}} = \frac{967}{22} = 43,96 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{43,96 \times 4}{\pi}} = 8 \text{ m (arredondado por excesso à unidade)}$$

$$\text{Volume} = 50,26 \times 4 = 201,06 \text{ m}^3$$

#### **Sistemas de tratamento em regime de média carga**

Como anteriormente referido, para sistemas de média carga, a produção de lamas é superior. No entanto, a carga de sólidos considerada para este tipo de sistemas é de 55 kg SST/m<sup>2</sup>.d.

Assim, procedeu-se da mesma forma para dimensionar o espessamento por média carga, no entanto, com uma carga de sólidos diferente.

## **Resumo do pré-dimensionamento do espessamento gravítico para sistemas em regime de baixa e média carga**

**Tabela IV – Valores calculados no pré-dimensionamento do Espessamento Gravítico para as populações equivalentes estudadas em regime de Baixa e Média Carga.**

<b>Epessamento</b>	<b>Baixa Carga</b>				<b>Média Carga</b>			
<b>População</b>	<b>Carga de sólidos (kg SST/(m<sup>2</sup>.d))</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Carga de sólidos (kg SST/(m<sup>2</sup>.d))</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Diâmetro (m)</b>
5000	22	11,0	44,0	4	55	9,4	37,5	4
10000	22	22,0	87,9	5	55	18,8	75,0	6
15000	22	33,0	131,9	6	55	28,1	112,5	7
20000	22	44,0	175,9	7	55	37,5	150,0	8
25000	22	55,0	219,8	8	55	46,9	187,5	9
30000	22	66,0	263,8	9	55	56,3	225,0	9
35000	22	76,9	307,8	10	55	65,6	262,5	10
40000	22	87,9	351,8	11	55	75,0	300,0	11
45000	22	98,9	395,7	11	55	84,4	337,5	11
50000	22	109,9	439,7	12	55	93,8	375,0	12

### **I.V Digestão a temperatura ambiente (DATA)**

Para o dimensionamento da digestão a temperatura ambiente (DATA), consideraram-se os seguintes pressupostos:

Tempo de retenção (Tr) – 50 dias

Obtido o caudal afluente ao digestor (volume de lamas espessadas a 4%), obteve-se o volume através do seguinte cálculo:

$$V_{\text{DATA}} = Tr \times Q \text{ lamas afluente ao digestor}$$

**Ex: 25.000 habitantes e 130l/hab.d**

$$V_{\text{DATA}} = 50 \text{ d} \times 60,7 \text{ m}^3/\text{d} = 3035 \text{ m}^3$$

Considerando uma altura arbitrada de 10 m obteve-se a área útil e diâmetro

$$\text{Á útil} = 303,5 \text{ m}^2$$

$$D = 21 \text{ m}$$

**Tabela V – Valores calculados no pré-dimensionamento da Digestão Anaeróbia à Temperatura Ambiente para as populações equivalentes estudadas em regime de Média Carga.**

<b>DATA</b>	<b>Média Carga</b>	
<b>População</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
5000	606,6	60,7
10000	1213,3	121,3
15000	1819,9	182,0
20000	2426,5	242,7
25000	3033,2	303,3
30000	3639,8	364,0
35000	4246,5	424,6
40000	4853,1	485,3
45000	5459,7	546,0
50000	6066,4	606,6

## **I.VI Digestão anaeróbia mesofílica (DAM)**

Para o dimensionamento da digestão anaeróbia mesofílica consideraram-se os seguintes pressupostos:

Tr – 21 dias

Logo, pode-se obter o volume pelo mesmo princípio da DATA:

$$V_{DAM} = Tr \times Q \text{ lamas afluentes a cada digestor}$$

Calculou-se também o volume através dos sólidos voláteis (considerados 80% dos ST) através do seguinte cálculo:

$$V_{DAM} = SV \text{ afluentes ao digestor} / 2,5$$

E também através da população ( 1 habitante – 0,03 m<sup>3</sup> de digestor) obtendo-se o volume necessário para se efectuar a estabilização da lama.

Concluindo-se que todos os valores eram praticamente iguais.

Para a produção de biogás, considerou-se com o cálculo de SV anteriormente elaborado, que cada kg de SV produzia 0,75 m<sup>3</sup> de biogás.

Assim, o cálculo efectuado foi o seguinte:

$$\text{Quantidade de biogás produzida} = SV \text{ ( kg/d)} \times \text{Produção específica de biogás (m}^3\text{/kg SV.d)}$$

Para calcular a necessidade de aquecimento dos digestores procedeu-se da seguinte forma:

$$\text{Necessidade de aquecimento (j/d)} = \frac{\text{kg SST afluentes aos digestores} \times \text{calor específico das lamas} \times (T_2 - T_1)}{0,035 \text{ (kg/kg)}}$$

Considera-se ainda as perdas de calor no processo de aquecimento como sendo cerca de 20% das necessidades de aquecimento.

Assim, o biogás necessário para fazer face a estas necessidades é o seguinte:

$$V_{\text{biogás necessário}} = \frac{\text{Necessidade de aquecimento} + \text{perdas de calor}}{\text{Poder calorífico do biogás} \times 0,75}$$

Onde 0,75 é a eficiência das unidades de aquecimento.

Subtraindo do biogás produzido o biogás necessário para o aquecimento do digestor, obteve-se o biogás disponível para queima em motogeradores e produção de energia eléctrica.

Para o cálculo da produção da energia eléctrica produzida diariamente, considerou-se que cada m<sup>3</sup> de biogás queimado produz 2,5kW.

**Ex: 35.000 habitantes e 130 l/hab.d**

$$SST \text{ aos digestores} = 3397 \text{ kg/d}$$

$$Q \text{ afluentes aos digestores} = 84,9 \text{ m}^3\text{/d}$$

$$Tr = 21 \text{ d}$$

$$V_{\text{digestão}} = 84,9 \times 21 = 1782,9 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{útil cada digestor}} = 1782,9 / n^{\circ} \text{ digestores} = 891,45 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cada digestor}} = 891,45 \times 1,2 \text{ (20\% do volume não será útil)}$$

$$V \text{ cada digestor} = 1070 \text{ m}^3$$

$$SV = 3397 \times 0,8 = 2717 \text{ kg/d SV}$$

$$\text{Produção de biogás} = SV \times \text{produção específica de biogás} = 2717 \times 0,75 = 2038,2 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

$$\text{Necessidade de aquecimento aos digestores} = \frac{3397 \times 4200 \times (35 - 12) \times (35 - 12)}{0,035} = 9376187741 \text{ j/d}$$

$$\text{Perda de calor} = \frac{9376187741}{5,6} = 1674319241 \text{ j/d}$$

$$\text{Necessidades totais de aquecimento} = (9376187741 + 1674319241) / 24 / 1000 = 460437,8 \text{ kJ/d}$$

$$\text{Biogás necessário para o aquecimento} = \frac{460437,8}{0,75 \times 24300} = 25,26 \text{ m}^3/\text{h} = 606,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Energia eléctrica produzida} = 2038 \times 2,5 = 5095 \text{ kW}$$

**Tabela VI – Valores calculados no pré-dimensionamento da Digestão Anaeróbia Mesofílica para as populações equivalentes estudadas em regime de Média Carga.**

DAM	Média Carga									
População	Nº Digestores	Volume (m3) (cada)	Área (m2) (cada)	Biogás produzido (m3) (ambos os digestores)	Necessidades aquecimento (l/d)	Perdas de calor (l/d)	Biogás necessário aquecimento (m3)	Biogás para queima (m3)	Energia elétrica produzida (KWh/d)	
5000	2	76,4	9,6	291,2	1339455393,0	239188463,0	86,6	204,6	511,4	
10000	2	152,7	19,1	582,4	2678910786,0	478376926,1	173,2	409,1	1022,8	
15000	2	229,1	28,7	873,6	4018366179,0	717565389,1	259,9	613,7	1534,2	
20000	2	305,4	38,2	1164,7	5357821572,0	956753852,1	346,5	818,3	2045,7	
25000	2	381,8	47,8	1455,9	6697276965,0	119594215,2	433,1	1022,8	2557,1	
30000	2	458,2	57,3	1747,1	8036732358,0	1435130778,2	519,7	1227,4	3068,5	
35000	2	534,5	66,9	2038,3	9376187750,9	1674319241,2	606,3	1432,0	3579,9	
40000	2	610,9	76,4	2329,5	10715643143,9	1913507704,3	693,0	1636,5	4091,3	
45000	2	687,3	86,0	2620,7	1205508636,9	2153686167,3	779,6	1841,1	4602,7	
50000	2	763,6	95,5	2911,9	13394553929,9	2391884630,3	866,2	2045,7	5114,2	

## I.VII Doseamento de Polieletrólito

Para o doseamento de polieletrólito na desidratação considerou-se que seria necessário 2g de polieletrólito por cada quilograma de SST alimentado à desidratação, obtendo-se assim os seguintes valores:

**Tabela VIII – Valores calculados no pré-dimensionamento da quantidade necessária de polieletrólito para as populações equivalentes estudadas em regime de Baixa e Média Carga.**

Polimero	Baixa Carga		Média Carga	
População	Q lamas a desidratar m3/d	Quantidade de polieletrólito (kg /d)	Q lamas a desidratar m3/d	Quantidade de polieletrólito (kg /d)
5000	5,6	0,3	11,0	0,8
10000	11,3	0,6	21,9	1,6
15000	16,9	0,9	32,9	2,4
20000	22,6	1,2	43,9	3,2
25000	28,2	1,5	54,8	4,0
30000	33,9	1,8	65,8	4,7
35000	39,5	2,2	76,8	5,5
40000	45,2	2,5	87,7	6,3
45000	50,8	2,8	98,7	7,1
50000	56,5	3,1	109,7	7,9

# **ANEXO II**

## **RESUMO DOS CUSTOS OBTIDOS PARA CADA SOLUÇÃO E CAPACIDADE DE TRATAMENTO**

## **ANEXO II – RESUMO DOS CUSTOS OBTIDOS PARA CADA SOLUÇÃO E CAPACIDADE DE TRATAMENTO**

No presente anexo apresenta-se as tabelas resumo (Tabela IX a XVIII) dos valores obtidos dos custos de investimento de construção, e custos de exploração das diferentes soluções ( sistemas de tratamento de lamas activadas em regime de arejamento prolongado, arejamento convencional com estabilização de lamas através de digestão anaeróbia a temperatura ambiente e arejamento convencional com estabilização de lamas através de digestão anaeróbia mesofílica) para as populações equivalentes estudadas (de 5.000 a 50.000 habitantes), considerando uma capitação de 130 l/hab.d. Estes valores foram a base de sustentação do presente estudo.



População 5.000 habitantes

**Tabela IX – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 5.000 habitantes considerando uma capitação de 130l/hab.d**

População	5000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		56.694,21 €	56.694,21 €
Eq		44.577,44 €	44.577,44 €
<b>TA</b>			
CC	189.852,32 €	132.923,36 €	132.923,36 €
Eq	54.020,86 €	55.143,84 €	55.143,84 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	105.778,47 €	71.488,10 €	71.488,10 €
Eq	84.124,46 €	57.039,39 €	57.039,39 €
<b>Espessador</b>			
CC	16.713,29 €	12.071,25 €	12.071,25 €
Eq	31.280,35 €	27.468,63 €	27.468,63 €
<b>DATA</b>			
CC		63.511,85 €	
<b>DAM</b>			
CC			94.798,52 €
Eq			112.233,57 €
<b>Cogeração</b>			
CC			100.337,02 €
Eq			668.913,46 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	53,17 €	38,56 €	57,37 €
Mês	1.594,96 €	1.156,75 €	1.721,12 €
Ano	19.405,38 €	14.073,80 €	20.940,25 €
15 anos	299.813,16 €	217.440,22 €	323.526,81 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	61,37 €
Mês	- €	- €	1.841,10 €
Ano	- €	- €	22.400,01 €
15 anos	- €	- €	336.000,09 €
<b>Diferença Energia</b>	299.813,16 €	217.440,22 €	- 12.473,28 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	1,17 €	3,01 €	3,01 €
15 anos	4.380,33 €	11.269,77 €	11.269,77 €
<b>Manutenção</b>	95.172,32 €	103.961,42 €	359.859,77 €
<b>Peças de Reserva</b>	76.241,55 €	82.903,19 €	133.408,30 €
<b>Parte eléctrica</b>	48.176,98 €	52.091,81 €	143.368,88 €
<b>Custo Inicial EE-</b>	<b>529.946,73 €</b>	<b>573.009,89 €</b>	<b>1.577.057,68 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>31.125,00 €</b>	<b>27.282,76 €</b>	<b>32.176,10 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>996.821,67 €</b>	<b>982.251,28 €</b>	<b>2.059.699,13 €</b>

**Tabela X – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 10.000 habitantes considerando uma captação de 130l/hab.d**

População	10000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		97.335,64 €	97.335,64 €
Eq		51.243,90 €	51.243,90 €
<b>TA</b>			
CC	286.415,91 €	212.110,30 €	212.110,30 €
Eq	73.880,84 €	69.920,61 €	69.920,61 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	192.372,50 €	124.859,74 €	124.859,74 €
Eq	99.243,08 €	66.677,97 €	66.677,97 €
<b>Espessador</b>			
CC	22.666,74 €	22.137,85 €	22.137,85 €
Eq	37.406,43 €	38.026,02 €	38.026,02 €
<b>DATA</b>			
CC		89.826,47 €	
<b>DAM</b>			
CC			132.402,86 €
Eq			193.733,34 €
<b>Cogeração</b>			
CC			102.299,47 €
Eq			681.996,45 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	96,90 €	67,16 €	92,99 €
Mês	2.907,14 €	2.014,90 €	2.789,68 €
Ano	35.370,18 €	24.514,67 €	33.941,14 €
15 anos	546.469,35 €	378.751,60 €	524.390,66 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	122,74 €
Mês	- €	- €	3.682,19 €
Ano	- €	- €	44.800,01 €
15 anos	- €	- €	672.000,18 €
<b>Diferença Energia</b>	546.469,35 €	378.751,60 €	- 147.609,52 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	2,34 €	6,01 €	6,01 €
15 anos	8.760,65 €	22.539,54 €	22.539,54 €
<b>Manutenção</b>	134.977,37 €	146.380,37 €	434.151,37 €
<b>Peças de Reserva</b>	94.738,66 €	101.640,83 €	188.820,83 €
<b>Parte eléctrica</b>	71.198,55 €	77.213,85 €	179.274,41 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>783.184,05 €</b>	<b>849.352,36 €</b>	<b>1.972.018,56 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>51.268,63 €</b>	<b>42.552,05 €</b>	<b>32.175,25 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>1.552.213,49 €</b>	<b>1.487.633,10 €</b>	<b>2.454.647,26 €</b>

População 15.000 habitantes

**Tabela XI – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 15.000 habitantes considerando uma capitação de 130l/hab.d**

População	15000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		123.567,28 €	123.567,28 €
Eq		54.798,34 €	54.798,34 €
<b>TA</b>			
CC	369.795,39 €	278.113,13 €	278.113,13 €
Eq	90.948,76 €	82.000,01 €	82.000,01 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	273.450,37 €	168.267,05 €	168.267,05 €
Eq	109.413,81 €	72.808,86 €	72.808,86 €
<b>Espessador</b>			
CC	29.256,60 €	28.463,27 €	28.463,27 €
Eq	42.969,13 €	43.562,28 €	43.562,28 €
<b>DATA</b>			
CC		116.426,84 €	
<b>DAM</b>			
CC			170.007,20 €
Eq			247.019,90 €
<b>Cogeração</b>			
CC			104.259,73 €
Eq			695.064,88 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	140,64 €	95,75 €	128,59 €
Mês	4.219,31 €	2.872,64 €	3.857,84 €
Ano	51.334,99 €	34.950,51 €	46.937,02 €
15 anos	793.125,53 €	539.985,36 €	725.176,88 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	184,11 €
Mês	- €	- €	5.523,29 €
Ano	- €	- €	67.200,02 €
15 anos	- €	- €	1.008.000,27 €
<b>Diferença Energia</b>	793.125,53 €	539.985,36 €	- 282.823,38 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	3,50 €	9,02 €	9,02 €
15 anos	13.140,98 €	33.809,31 €	33.809,31 €
<b>Manutenção</b>	169.486,37 €	178.907,00 €	489.477,93 €
<b>Peças de Reserva</b>	109.499,27 €	113.926,27 €	225.085,23 €
<b>Parte eléctrica</b>	91.583,41 €	96.800,71 €	206.793,19 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>1.007.417,47 €</b>	<b>1.064.807,78 €</b>	<b>2.274.725,14 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>70.810,09 €</b>	<b>56.726,68 €</b>	<b>29.628,50 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>2.069.568,87 €</b>	<b>1.915.707,99 €</b>	<b>2.719.152,57 €</b>

**Tabela XII – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 20.000 habitantes considerando uma captação de 130l/hab.d**

População	20000,00		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		153.984,84 €	153.984,84 €
Eq		57.910,36 €	57.910,36 €
<b>TA</b>			
CC	453.174,87 €	330.931,86 €	330.931,86 €
Eq	106.873,54 €	92.841,58 €	92.841,58 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	335.667,55 €	192.813,66 €	192.813,66 €
Eq	116.371,70 €	76.316,55 €	76.316,55 €
<b>Espessador</b>			
CC	36.482,88 €	35.425,10 €	35.425,10 €
Eq	48.338,77 €	48.905,47 €	48.905,47 €
<b>DATA</b>			
CC		143.312,96 €	
<b>DAM</b>			
CC			195.213,00 €
Eq			282.103,75 €
<b>Cogeração</b>			
CC			106.219,45 €
Eq			708.129,66 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	184,38 €	124,33 €	160,25 €
Mês	5.531,49 €	3.729,97 €	4.807,59 €
Ano	67.299,79 €	45.381,33 €	58.492,39 €
15 anos	1.039.781,71 €	701.141,49 €	903.707,44 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	245,48 €
Mês	- €	- €	7.364,39 €
Ano	- €	- €	89.600,02 €
15 anos	- €	- €	1.344.000,36 €
<b>Diferença Energia</b>	1.039.781,71 €	701.141,49 €	- 440.292,92 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	4,67 €	12,02 €	12,02 €
15 anos	17.521,30 €	45.079,08 €	45.079,08 €
<b>Manutenção</b>	199.801,57 €	205.948,69 €	532.050,40 €
<b>Peças de Reserva</b>	122.212,81 €	124.188,29 €	251.134,97 €
<b>Parte eléctrica</b>	109.690,93 €	113.244,24 €	228.079,53 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>1.206.600,24 €</b>	<b>1.245.686,64 €</b>	<b>2.508.874,82 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>89.935,50 €</b>	<b>70.395,73 €</b>	<b>24.110,00 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>2.555.632,73 €</b>	<b>2.301.622,60 €</b>	<b>2.870.524,79 €</b>

**Tabela XIII – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 25.000 habitantes considerando uma capitação de 130l/hab.d**

População	25000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		188.942,55 €	188.942,55 €
Eq		60.779,95 €	60.779,95 €
<b>TA</b>			
CC	523.370,25 €	396.934,70 €	396.934,70 €
Eq	122.171,96 €	103.056,78 €	103.056,78 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	403.815,62 €	245.117,32 €	245.117,32 €
Eq	122.670,51 €	81.498,26 €	81.498,26 €
<b>Espessador</b>			
CC	44.345,57 €	43.023,35 €	43.023,35 €
Eq	53.631,38 €	54.171,64 €	54.171,64 €
<b>DATA</b>			
CC		164.594,91 €	
<b>DAM</b>			
CC			220.418,79 €
Eq			310.858,25 €
<b>Cogeração</b>			
CC			108.178,95 €
Eq			721.192,99 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	228,12 €	152,92 €	195,86 €
Mês	6.843,66 €	4.587,71 €	5.875,75 €
Ano	83.264,59 €	55.817,17 €	71.488,26 €
15 anos	1.286.437,90 €	862.375,25 €	1.104.493,67 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	306,85 €
Mês	- €	- €	9.205,48 €
Ano	- €	- €	112.000,03 €
15 anos	- €	- €	1.680.000,45 €
<b>Diferença Energia</b>	1.286.437,90 €	862.375,25 €	- 575.506,78 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	5,84 €	15,03 €	15,03 €
15 anos	21.901,63 €	56.348,85 €	56.348,85 €
<b>Manutenção</b>	228.620,04 €	239.190,41 €	579.859,71 €
<b>Peças de Reserva</b>	134.313,23 €	134.777,99 €	274.664,20 €
<b>Parte eléctrica</b>	127.000,53 €	133.811,95 €	253.417,35 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>1.397.005,82 €</b>	<b>1.471.931,40 €</b>	<b>2.787.590,88 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>108.920,25 €</b>	<b>84.504,98 €</b>	<b>20.213,08 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>3.030.809,55 €</b>	<b>2.739.506,17 €</b>	<b>3.090.787,14 €</b>

**Tabela XIV – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 30.000 habitantes considerando uma captação de 130l/hab.d**

População	30000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		230.807,66 €	230.807,66 €
Eq		73.118,31 €	73.118,31 €
<b>TA</b>			
CC	1.019.643,47 €	744.596,69 €	744.596,69 €
Eq	135.331,91 €	111.880,43 €	111.880,43 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	503.501,32 €	289.220,49 €	289.220,49 €
Eq	150.184,61 €	96.034,59 €	96.034,59 €
<b>Espessador</b>			
CC	52.844,67 €	43.698,35 €	43.698,35 €
Eq	58.898,67 €	54.636,52 €	54.636,52 €
<b>DATA</b>			
CC		186.003,85 €	
<b>DAM</b>			
CC			245.624,59 €
Eq			335.609,30 €
<b>Cogeração</b>			
CC			110.138,34 €
Eq			734.255,60 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	272,35 €	179,18 €	225,19 €
Mês	8.170,59 €	5.375,31 €	6.755,77 €
Ano	99.408,82 €	65.399,57 €	82.195,22 €
15 anos	1.535.866,33 €	1.010.423,30 €	1.269.916,14 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	368,22 €
Mês	- €	- €	11.046,58 €
Ano	- €	- €	134.400,04 €
15 anos	- €	- €	2.016.000,54 €
<b>Diferença Energia</b>	1.535.866,33 €	1.010.423,30 €	- 746.084,40 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	7,01 €	18,03 €	18,03 €
15 anos	26.281,96 €	67.618,62 €	67.618,62 €
<b>Manutenção</b>	331.796,28 €	318.295,26 €	671.273,35 €
<b>Peças de Reserva</b>	154.986,84 €	151.051,43 €	302.075,62 €
<b>Parte eléctrica</b>	192.040,46 €	182.999,69 €	306.962,09 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>2.112.445,11 €</b>	<b>2.012.996,59 €</b>	<b>3.376.582,97 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>133.613,16 €</b>	<b>101.197,25 €</b>	<b>17.193,02 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>4.116.642,54 €</b>	<b>3.530.955,40 €</b>	<b>3.634.478,31 €</b>

População 35.000 habitantes

**Tabela XV – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 35.000 habitantes considerando uma capitação de 130l/hab.d**

População	35000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		282.923,29 €	282.923,29 €
Eq		75.855,41 €	75.855,41 €
<b>TA</b>			
CC	1.144.712,69 €	833.712,87 €	833.712,87 €
Eq	150.159,76 €	121.672,42 €	121.672,42 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	554.064,06 €	327.645,63 €	327.645,63 €
Eq	154.293,58 €	99.114,62 €	99.114,62 €
<b>Espressador</b>			
CC	61.980,18 €	51.933,01 €	51.933,01 €
Eq	64.168,19 €	59.815,96 €	59.815,96 €
<b>DATA</b>			
CC		201.554,62 €	
<b>DAM</b>			
CC			270.830,39 €
Eq			357.597,62 €
<b>Cogeração</b>			
CC			112.097,67 €
Eq			747.317,78 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	316,09 €	207,24 €	260,27 €
Mês	9.482,76 €	6.217,34 €	7.808,22 €
Ano	115.373,63 €	75.644,30 €	94.999,98 €
15 anos	1.782.522,52 €	1.168.704,46 €	1.467.749,76 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	429,59 €
Mês	- €	- €	12.887,67 €
Ano	- €	- €	156.800,04 €
15 anos	- €	- €	2.352.000,63 €
<b>Diferença Energia</b>	1.782.522,52 €	1.168.704,46 €	- 884.250,86 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	8,18 €	21,04 €	21,04 €
15 anos	30.662,28 €	78.888,39 €	78.888,39 €
<b>Manutenção</b>	365.402,98 €	353.812,98 €	720.283,57 €
<b>Peças de Reserva</b>	165.879,69 €	160.406,28 €	321.325,21 €
<b>Parte eléctrica</b>	212.937,85 €	205.422,78 €	334.051,67 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>2.342.316,33 €</b>	<b>2.259.650,60 €</b>	<b>3.674.568,32 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>152.836,62 €</b>	<b>115.184,81 €</b>	<b>12.899,75 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>4.634.865,66 €</b>	<b>3.987.422,77 €</b>	<b>3.868.064,64 €</b>

População 40.000 habitantes

**Tabela XVI – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 40.000 habitantes considerando uma captação de 130l/hab.d**

População	40000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		283.524,17 €	283.524,17 €
Eq		76.466,72 €	76.466,72 €
<b>TA</b>			
CC	1.240.117,69 €	922.829,04 €	922.829,04 €
Eq	164.760,87 €	131.095,61 €	131.095,61 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	606.850,89 €	368.294,85 €	368.294,85 €
Eq	158.121,80 €	102.051,52 €	102.051,52 €
<b>Espessador</b>			
CC	71.752,11 €	60.804,08 €	60.804,08 €
Eq	69.456,42 €	65.014,10 €	65.014,10 €
<b>DATA</b>			
CC		223.154,06 €	
<b>DAM</b>			
CC			296.036,19 €
Eq			377.563,79 €
<b>Cogeração</b>			
CC			114.056,96 €
Eq			760.379,71 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	359,83 €	235,31 €	291,42 €
Mês	10.794,94 €	7.059,37 €	8.742,68 €
Ano	131.338,43 €	85.889,04 €	106.369,28 €
15 anos	2.029.178,70 €	1.326.985,62 €	1.643.405,35 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	490,96 €
Mês	- €	- €	14.728,77 €
Ano	- €	- €	179.200,05 €
15 anos	- €	- €	2.688.000,72 €
<b>Diferença Energia</b>	2.029.178,70 €	1.326.985,62 €	- 1.044.595,37 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	9,34 €	24,04 €	24,04 €
15 anos	35.042,61 €	90.158,16 €	90.158,16 €
<b>Manutenção</b>	394.747,01 €	382.058,70 €	760.603,23 €
<b>Peças de Reserva</b>	176.552,59 €	168.582,57 €	338.486,28 €
<b>Parte eléctrica</b>	231.105,98 €	223.323,42 €	355.811,67 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>2.542.165,76 €</b>	<b>2.456.557,57 €</b>	<b>3.913.928,41 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>171.761,24 €</b>	<b>128.609,00 €</b>	<b>6.452,41 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>5.118.584,37 €</b>	<b>4.385.692,55 €</b>	<b>4.010.714,53 €</b>



População 45.000 habitantes

**Tabela XVII – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 45.000 habitantes considerando uma capitação de 130l/hab.d**

População	45000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		342.980,20 €	342.980,20 €
Eq		79.037,33 €	79.037,33 €
<b>TA</b>			
CC	1.365.186,91 €	1.011.945,22 €	1.011.945,22 €
Eq	179.188,80 €	140.487,67 €	140.487,67 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	716.841,91 €	411.168,16 €	411.168,16 €
Eq	163.745,58 €	104.879,10 €	104.879,10 €
<b>Espessador</b>			
CC	72.691,56 €	61.479,08 €	61.479,08 €
Eq	69.807,08 €	65.338,31 €	65.338,31 €
<b>DATA</b>			
CC		238.800,08 €	
<b>DAM</b>			
CC			321.241,99 €
Eq			395.985,51 €
<b>Cogeração</b>			
CC			116.016,22 €
Eq			773.441,46 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	403,57 €	263,38 €	326,50 €
Mês	12.107,11 €	7.901,41 €	9.795,13 €
Ano	147.303,23 €	96.133,77 €	119.174,04 €
15 anos	2.275.834,88 €	1.485.266,78 €	1.841.238,98 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	552,33 €
Mês	- €	- €	16.569,87 €
Ano	- €	- €	201.600,05 €
15 anos	- €	- €	3.024.000,81 €
<b>Diferença Energia</b>	2.275.834,88 €	1.485.266,78 €	- 1.182.761,83 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	10,51 €	27,05 €	27,05 €
15 anos	39.422,93 €	101.427,93 €	101.427,93 €
<b>Manutenção</b>	436.126,76 €	417.656,77 €	807.475,44 €
<b>Peças de Reserva</b>	185.733,65 €	175.384,08 €	353.577,56 €
<b>Parte eléctrica</b>	256.746,18 €	245.611,51 €	382.400,02 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>2.824.208,01 €</b>	<b>2.701.726,66 €</b>	<b>4.206.400,27 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>191.388,78 €</b>	<b>142.431,69 €</b>	<b>1.739,39 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>5.695.039,78 €</b>	<b>4.838.202,03 €</b>	<b>4.232.491,06 €</b>

**Tabela XXVIII – Custos obtidos de construção e equipamento para os diferentes órgãos e cálculo de custo de exploração (manutenção, peças de reserva, reagentes, energia) para populações equivalentes de 50.000 habitantes considerando uma captação de 130l/hab.d**

População	50000		
	BC	MC+DATA	MC+DAM
<b>Dec 1ª</b>			
CC		410.304,41 €	410.304,41 €
Eq		81.551,06 €	81.551,06 €
<b>TA</b>			
CC	1.460.591,91 €	1.101.061,40 €	1.101.061,40 €
Eq	193.480,12 €	149.743,13 €	149.743,13 €
<b>Dec2ª</b>			
CC	776.301,01 €	456.265,56 €	456.265,56 €
Eq	167.190,21 €	107.620,46 €	107.620,46 €
<b>Espessador</b>			
CC	83.099,89 €	70.986,56 €	70.986,56 €
Eq	75.097,54 €	70.538,69 €	70.538,69 €
<b>DATA</b>			
CC		260.590,02 €	
<b>DAM</b>			
CC			346.447,78 €
Eq			413.188,94 €
<b>Cogeração</b>			
CC			117.975,46 €
Eq			786.503,09 €
<b>Prensas</b>			
Eq	- €	- €	- €
<b>Energia</b>			
Custo			
Dia	447,31 €	291,45 €	357,65 €
Mês	13.419,29 €	8.743,44 €	10.729,59 €
Ano	163.268,03 €	106.378,51 €	130.543,34 €
15 anos	2.522.491,07 €	1.643.547,94 €	2.016.894,56 €
<b>Ganho</b>	- €	- €	- €
Dia	- €	- €	613,70 €
Mês	- €	- €	18.410,96 €
Ano	- €	- €	224.000,06 €
15 anos	- €	- €	3.360.000,90 €
<b>Diferença Energia</b>	2.522.491,07 €	1.643.547,94 €	- 1.343.106,33 €
<b>Reagentes</b>	- €	- €	- €
Dia	11,68 €	30,05 €	30,05 €
15 anos	43.803,26 €	112.697,70 €	112.697,70 €
<b>Manutenção</b>	466.264,30 €	457.069,21 €	858.199,79 €
<b>Peças de Reserva</b>	196.095,54 €	184.254,00 €	370.189,03 €
<b>Parte eléctrica</b>	275.576,07 €	270.866,13 €	411.218,66 €
<b>Custo Inicial EE+CC</b>	<b>3.031.336,75 €</b>	<b>2.979.527,42 €</b>	<b>4.523.405,21 €</b>
<b>Custo por ano</b>	<b>210.345,57 €</b>	<b>156.646,57 €</b>	<b>- 4.050,95 €</b>
<b>Custo 15 anos</b>	<b>6.186.520,30 €</b>	<b>5.329.225,95 €</b>	<b>4.462.640,89 €</b>